



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOPATOLOGIA**

**PROGRESSO TEMPORAL DA MURCHA DE FUSÁRIO EM  
TOMATEIRO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE  
ÁGUA NO SOLO**

**GUILHERME ÁLVARES LAPIDUS**

**Brasília – DF**

**2013**

**GUILHERME ÁLVARES LAPIDUS**

**PROGRESSO TEMPORAL DA MURCHA DE FUSÁRIO EM TOMATEIRO SOB  
DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE ÁGUA NO SOLO**

Dissertação apresentada à  
Universidade de Brasília como  
requisito parcial para a obtenção do  
título de Mestre em Fitopatologia  
pelo Programa de Pós-Graduação  
em Fitopatologia

**Orientador**

Prof. Adalberto Corrêa Café Filho, Ph.D.

**Co-orientadores**

Waldir Aparecido Marouelli, Ph.D.

Daniel Anacleto da Costa Lage, Dr.

**BRASÍLIA**  
**DISTRITO FEDERAL - BRASIL**  
**2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Lapidus, Guilherme Álvares.

Progresso temporal da murcha de fusário em tomateiro sob diferentes disponibilidades de água no solo. / Guilherme Álvares Lapidus.

Brasília, 2013.

Número de páginas 71: il.

Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, Universidade de Brasília, Brasília.

1. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 2. *Solanum lycopersicon* 3. Irrigação 4. Disponibilidade de água no solo. I. Café Filho, A. C. II. Dr.

“Somos o que pensamos. Tudo o que somos surge com nossos pensamentos. Com  
nossos pensamentos, fazemos o nosso mundo.”. **Siddhartha Gautama**

**Dedico aos meus  
pais, Vitor e Ângela e  
aos meus irmãos  
Gustavo e Rosanna,  
por todo o amor e  
apoio todos esses  
anos.**

## **AGRADECIMENTOS**

A D'us, que me ilumina e me acompanha por todos os caminhos.

A toda minha família e minha namorada por todo o amor, carinho, apoio, incentivo, exemplo, paciência, amizade, ensinamentos e tudo mais que alguém pode precisar.

Aos meus amigos, a família que eu escolhi, pelo apoio, cumplicidade e por todos os momentos bons que passamos e ainda passaremos juntos. Todas as experiências, conversas, discussões, desentendimentos, festas, desabafos, etc...

Aos meus orientadores Dr. Daniel Anacleto da Costa Lage, Dr. Waldir Aparecido Marouelli e Prof. Dr. Adalberto Corrêa Café Filho por me darem esta oportunidade e por todo o apoio intelectual, financeiro e psicológico para a conclusão deste trabalho.

Aos estagiários de iniciação científica Lucas, Pedro, Rayssa e Gustavo, e ao companheiro de mestrado Ricardo Nunes Cabral que tanto me ajudaram, e sem eles não seria possível a execução deste trabalho.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, em especial aos professores e educadores Everaldo Pereira, Flávio Botelho e Cícero Lopes, por todos os ensinamentos e apoio, dentro e fora de sala de aula.

Aos professores e funcionários do Departamento de Fitopatologia da Universidade de Brasília, pelos ensinamentos e por todo o apoio na execução deste trabalho.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da UnB, pelo apoio, incentivo e principalmente por todos os momentos de descontração que tivemos no departamento.

Aos companheiros da Embrapa Hortaliças e da Estação Experimental de Biologia da UnB.

À Cross Link Consultoria e Comércio Ltda., na pessoa do sr. eng. agrônomo Rogerio Gabriel, pela oportunidade e compreensão na fase final de meu mestrado.

Ao CNPq e FAP/DF pelo apoio financeiro, à CAPES pela concessão de bolsa.

A todos que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Muito Obrigado!

Guilherme Álvares Lapidus

Trabalho realizado junto ao Departamento de Fitopatologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob orientação do **Professor Adalberto Corrêa Café Filho**, com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças (Embrapa Hortaliças) e da Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAP/DF).

**PROGRESSO TEMPORAL DA MURCHA DE FUSÁRIO EM TOMATEIRO  
SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE ÁGUA NO SOLO**

**GUILHERME ÁLVARES LAPIDUS**

DISSERTAÇÃO APROVADA em 31/05/2013 por:

---

Prof<sup>a</sup>. Cícero Lopes da Silva, D.Sc.  
Examinador

---

Prof. Carlos Uesugi, Ph.D.  
Examinador

---

Prof. Adalberto Corrêa Café Filho, Ph.D.  
Orientador

**BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL  
BRASIL  
2013**

## Sumário

1.Introdução .....	1
1.1 A cultura do tomateiro.....	2
1.2 Murcha de fusário .....	4
1.2.1 Quantificação indireta das alterações fisiológicas associadas à murcha de fusário .....	6
1.3 Manejo da doença.....	7
1.3.1 Manejo da água de irrigação .....	9
2. Material e Métodos.....	13
2.1 Época e condições gerais dos ensaios .....	13
2.2 Obtenção e cultura do <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> .....	13
2.3 Teste de patogenicidade, seleção de isolado e seleção de cultivar-teste de tomateiro .....	14
2.4 Re-isolamento e cultura do <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> .....	15
2.5 Obtenção de clamidósporos .....	15
2.6 Preparo e inoculação das unidades experimentais .....	16
2.7 Descrição e instalação dos tratamentos de irrigação .....	17
2.8 Manejo da irrigação.....	18
2.9 Avaliação de sintomas de fusariose.....	19
2.10 Monitoramento da população do patógeno em solo.....	21
2.11 Monitoramento das condições ambientais .....	22
3. Resultados .....	23
3.1 Progresso temporal nos estágios iniciais da epidemia.....	23
3.2 Progresso temporal durante o curso completo da epidemia em microparcelas .....	26
4 Discussão.....	30
5 Referências Bibliográficas .....	37

## Lista de Quadros

	<b>Página</b>
Quadro 1: Composição do substrato utilizado nos experimentos de vasos e microparcels. Brasília, 2012.	<b>45</b>
Quadro 2 – Volume de água aplicado por irrigação conforme a tensão de água no solo, no experimento em vasos, por vaso, em mililitros. Brasília, 2012.	<b>46</b>
Quadro 3 – Volume de água aplicado por irrigação conforme a tensão de água no solo, no experimento em microparcels, por tanque de solo, em litros. Brasília, 2012.	<b>47</b>



## Lista de Tabelas

	<b>Página</b>
Tabela 1 –Número de irrigações e turnos de rega em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.	<b>48</b>
Tabela 2 – Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença, severidades no $Y_{50\%}$ e $Y_{máx}$ , incidência no $Y_{50\%}$ e taxa de progresso da severidade da doença ( $r$ ), em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.	<b>49</b>
Tabela 3 – Teor de clorofila nas folhas em $Y_{50\%}$ , $Y_{máx}$ , total no experimento e temperatura de folhas aos 40 DAT em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.	<b>50</b>
Tabela 4 – Altura de plantas no $Y_{50\%}$ e $Y_{máx}$ , população do patógeno no solo aos 97 dias após o transplântio (DAT) e área abaixo da curva (AAC) de unidades formadoras de colônia em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.	<b>51</b>
Tabela 5 – Total de água utilizada, número de irrigações e turnos de rega em microparcels sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	<b>52</b>
Tabela 6 – Área abaixo da curva de progresso da doença, severidades aos 82 dias após o transplântio (DAT), $Y_{50\%}$ e $Y_{máx}$ , incidência aos 82 dias após o transplântio (DAT) e taxa de progresso da doença em microparcels sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	<b>53</b>
Tabela 7 – Teor de clorofila das folhas no $Y_{50\%}$ , $Y_{máx}$ , total acumulado e temperatura média de folhas aos 40 dias após o transplântio (DAT) em microparcels sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	<b>54</b>
Tabela 8 – Altura de plantas aos 59 DAT, $Y_{máx}$ e lesão visível no interior do caule em microparcels sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	<b>55</b>

---

Tabela 9 – Dinâmica populacional do patógeno no solo no $Y_{50\%}$ , $Y_{máx}$ e AAC de UFC*dia/g de solo no em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	56
---	----

---

## Lista de Figuras

	Página
Figura 1 – Total de água utilizada em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em vasos dentro de casa de vegetação, aos 82 dias após o transplântio (DAT). Brasília, 2012.	57
Figura 2 – Incidência (A) e severidade pela escala de De Cal <i>et al.</i> (1995) (B) da murcha de fusário ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> ) em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo conduzido em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.	58
Figura 3 – Correlação entre a área abaixo da curva de severidade da murcha de fusário ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> ) em tomateiro e volume de água disponível no solo (A), tensão de água no solo (B), e log da tensão de água no solo (C), em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo conduzido em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.	59
Figura 4 – Teor de clorofila de folhas de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.	60
Figura 5 – Percentual do comprimento da lesão vascular pela altura da planta de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em vasos dentro de casa de vegetação, aos 82 dias após o transplântio (DAT). Brasília, 2012.	61

Figura 6 – Dinâmica populacional de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , em solo cultivado com tomateiro em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.	62
Figura 7 – Total de água utilizada em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em microparcelsas sob cobertura semitransparente, aos 141 dias após o transplantio (DAT). Brasília, 2012.	63
Figura 8 – Incidência (A) e severidade pela escala de De Cal <i>et al.</i> (1995) (B) da murcha de fusário ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> ) em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo conduzido em microparcelsas sob telado. Brasília, 2012.	64
Figura 9 – Temperatura da superfície foliar de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em microparcelsas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	65
Figura 10 – Teor de clorofila de folhas de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em microparcelsas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	66
Figura 11 – Percentual do comprimento da lesão vascular pela altura da planta de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com infestação por clamidósporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , conduzido em microparcelsas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.	67

---

Figura 12 – Dinâmica populacional de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, em solo cultivado com tomateiro em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

**68**

---

Figura 13 – Produção total de frutos comercializáveis (A) e média de peso de frutos comercializáveis (B) de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

**69**

---

## 1.Introdução

O tomate [*Solanum lycopersicum* L. (= *Lycopersicon esculentum* Mill.)] é a segunda hortaliça mais produzida no mundo, com produção superada apenas pela batata. Em 2011, a produção mundial, considerando o tomate de mesa e o tomate para processamento, atingiu 159 milhões de toneladas, que foram colhidas em cerca de 4,73 milhões de hectares cultivados, proporcionando uma produtividade média de 33,5 ton/ha (FAO, 2013). O Brasil é o oitavo maior produtor, atrás de China, Índia, EUA, Turquia, Egito, Irã e Itália. A produção brasileira, em 2011, foi de 4,4 milhões de toneladas e a produtividade média de 61,8 ton/ha (FAO, 2013). O estado de Goiás é o maior produtor nacional, tendo produzido 1,4 milhão de toneladas numa área de 17,9 mil hectares, representando uma produtividade média de 77,5 ton/ha, superando a média nacional (IBGE, 2013).

A produção de tomate é limitada por diversas doenças que afetam tanto a parte aérea quanto o sistema radicular (Kurozawa & Pavan, 2005). Dentre os patógenos que atacam o sistema radicular destaca-se o fungo *Fusarium oxysporum* Schl. f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen, causador da murcha de fusário. Devido à sua grande capacidade de sobrevivência, mesmo na ausência de hospedeiros, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) é responsável por inviabilizar grandes áreas de cultivo, forçando os produtores à contínua busca de áreas livres do fungo (Agrios, 2004). A doença torna-se ainda mais importante em solos sob cultivo protegido (Vida *et al.*, 2004), onde a mudança de áreas geralmente não é possível.

Segundo Lopes & Ávila (2005), aproximadamente 15% dos custos totais de produção do tomate são atribuídos à aplicação de fungicidas, ainda que, para fungos de solo como Fol, esta não seja uma prática eficiente. Doenças de solo só são controladas

eficientemente com emprego do manejo integrado, o que inclui a utilização de variedades resistentes e correto manejo cultural, visando à exclusão, erradicação e proteção (Café Filho & Lobo Júnior, 2000; Kurozawa & Pavan, 2005). Um dos componentes do controle cultural é a realização de um eficiente manejo da irrigação (Lopes *et al.*, 2006).

O excesso de água aplicado às plantas, além de representar um desperdício, pode ocasionar a falta de aeração nas raízes, o maior consumo de fertilizantes e o aumento da incidência de doenças, levando ao aumento do custo de produção e redução de produtividade. Segundo Agrios (2004), fatores ambientais como a temperatura e a umidade, têm grande influência sobre a germinação dos conídios de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*. A frequência entre regas e a quantidade de água aplicada na irrigação são fatores determinantes para a disseminação e a sobrevivência dos patógenos, principalmente para doenças causadas por patógenos de solo, além de influenciarem no processo de infecção inicial e expressão de sintomas da hospedeira (Lopes *et al.*, 2006). O correto manejo da água de irrigação deve visar a redução de doenças em campo, principalmente fúngicas e bacterianas, sem, contudo, afetar a produtividade (Marouelli *et al.*, 2006).

## **1.1 A cultura do tomateiro**

O tomate cultivado, assim como as espécies silvestres, tem como centro de origem primário a região sul da Cordilheira dos Andes, de onde os povos Incas o levaram até o sul da América Central, considerado como centro de diversidade secundário. Na região que corresponde atualmente ao México ocorreu a domesticação da planta. Exploradores espanhóis levaram o tomate ao sul da Europa e, posteriormente, a cultura se disseminou por todo o continente (Espinoza, 1991) e daí para o mundo. O

tomate foi trazido ao Brasil logo após o descobrimento, já no século XVI, pelos colonizadores europeus (Pazinato & Galhardo, 1997).

Sua primeira denominação científica foi *Lycopersicon esculentum*, dada por Tournefort em 1694. Estudos mais aprofundados de morfologia, auxiliados pelo uso de técnicas moleculares em filogenética, fizeram com que o tomate fosse reagrupado no gênero *Solanum*. O tomateiro atualmente pertence à ordem Tubiflorae, família Solanaceae, gênero *Solanum*, espécie *Solanum lycopersicum* (Peralta *et al.*, 2006).

O tomate é cultivado e consumido em todo o planeta (Giordano & Ribeiro, 2000). Seus frutos compõem uma dieta saudável e equilibrada, sendo fonte de minerais, vitaminas, aminoácidos essenciais, açúcares e fibras, além de quantidades consideráveis de fósforo, ferro e vitaminas B e C. A maior parte de seu consumo se dá na forma *in natura*, mas desde o século XIX também se tornaram comuns os produtos industrializados derivados do tomate, como: molhos, sopas, bebidas e ketchup. Frutos enlatados ou secos também têm grande importância econômica (Borguini & Matos, 2002).

Os primeiros relatos de cultivo de tomate para alimentação europeia remontam à Itália, por volta do ano de 1550 (Figueira, 2003). Entretanto, sua inclusão na alimentação ocidental se deu de uma forma lenta. Inicialmente era cultivado apenas pelo seu valor ornamental, por se acreditar, na época, que seus frutos poderiam ser venenosos.

Cerca de 80% da produção nacional de tomate é voltada para o mercado *in natura* (Oliveira, 2005). O uso de adubação pesada, as irrigações frequentes, o controle semanal de doenças e pragas, a necessidade constante de tratos culturais e a colheita elevam o custo de produção do tomate em relação a outros cultivos (Minami, 1989). Mesmo sendo uma espécie de alta capacidade de adaptação, condições climáticas



adversas podem afetar significativamente a produção do tomate, seja por danos diretos, como ventos e chuvas, ou por danos indiretos, o que favorece a incidência de doenças e pragas (Makishima & Miranda, 1995).

## 1.2 Murcha de fusário

A cultura do tomateiro é sensível a diversos problemas fitossanitários. Cerca de duzentas doenças de causas bióticas e abióticas que afetam a tomaticultura já foram identificadas (Lopes & Ávila, 2005). Dentre estas, se destaca a murcha de fusário ou fusariose, causada por *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, fungo habitante do solo responsável por danos em cultivos comerciais em todo o mundo, incluindo o Brasil. (Kurozawa & Pavan, 2005).

De acordo com a sua habilidade de infectar e causar doença em diferentes cultivares diferenciadoras, com diferentes *loci* de resistência, *Fol* pode ser agrupado em três raças fisiológicas (Souza *et al.*, 2010), todas apresentando grande variabilidade genética (Marlatt *et al.*, 1996). As raças 1 e 2 são amplamente distribuídas no Brasil, enquanto a raça 3 foi relatada em cultivos comerciais, até o momento, apenas nos estados do Espírito Santo (Reis *et al.*, 2005) e Rio de Janeiro (Reis & Boiteux, 2007).

Os sintomas primários da murcha de fusário em tomateiro são observados nos folíolos mais jovens, que apresentam um leve clareamento externo às nervuras, seguido de epinastia nas folhas mais velhas a partir da curvatura do pecíolo. Plantas infectadas na fase de mudas geralmente manifestam amarelecimento nas folhas que evoluem para uma murcha que conduz à morte (De Cal *et al.*, 1997). (Veja item 3.1 a seguir). Pode-se observar, internamente ao caule e próximo às raízes, uma descoloração vascular do xilema (Kurozawa & Pavan, 2005). Em campo, plantas infectadas podem apresentar clareamento de nervuras e epinastia nas folhas, seguidos de redução no crescimento, amarelecimento das folhas baixas, formação de raízes adventícias, murcha em folhas

e caules jovens, desfolhamento e necrose marginal das folhas remanescentes, o que inevitavelmente acelera a senescência do hospedeiro, que tem seu ciclo produtivo abreviado (Agrios, 2004). Também é comum que os sintomas, inicialmente, se deem somente em um dos lados da planta, devido à colonização dos vasos não ocorrer por todo o perímetro do caule (Kurozawa & Pavan, 2005). Os sintomas da doença podem se manifestar em qualquer época do cultivo, sendo mais comuns em plantas no início do florescimento até o fim da colheita (Kurozawa & Pavan, 2005). Por ser um patógeno colonizador do xilema, um corte transversal na base do caule de uma planta doente revela um anel escurecido na região vascular, ausente na região medular (Agrios, 2004; Kurozawa & Pavan, 2005). Em condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno, as plantas mais velhas podem murchar e morrer subitamente, se sofrerem uma infecção mais severa (Agrios, 2004).

Diversos fatores ambientais podem contribuir para a predisposição do tomateiro à doença. Alguns destes fatores são ao mesmo tempo ótimos para o desenvolvimento da planta, mas também para o desenvolvimento da doença. Os fatores que favorecem o desenvolvimento de sintomas da murcha de fusário são: temperatura do solo próxima de 28°C, baixa umidade no solo, baixa intensidade luminosa, dias curtos, solos com pH baixo, níveis baixos de N e de P e alto de K (Foster & Walker, 1947; Jones & Woltz, 1972 citados por Lage, 2009).

A disseminação do *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* a longas distâncias pode ocorrer por meio de sementes e de mudas contaminadas (Lopes & Ávila, 2005). A curtas distâncias a disseminação pode ocorrer por meio da água ou solo infestado (Booth, 1971) ou do contacto entre raízes. O patógeno é facilmente reconhecido pela formação de macroconídios, porém, são os microconídios e os clamidósporos os maiores responsáveis pela infecção do sistema radicular. Clamidósporos são estruturas

de resistência do fungo e principal causa da dificuldade de controle desta doença, pela capacidade de sobrevivência no solo por longos períodos. Para que o tomateiro apresente sintomas visíveis da doença são necessários de 1.000 a 4.000 clamidósporos/g de solo (De Cal *et al.*, 1997). *Fol* também pode sobreviver em restos culturais ou na forma endofítica, colonizando plantas invasoras dos gêneros *Oryzopsis*, *Digitaria*, *Amaranthus* e *Malva* (Katan, 1971).

### 1.2.1 Quantificação indireta das alterações fisiológicas associadas à murcha de fusário

A dificuldade de se avaliar os sintomas primários (descoloração vascular) de forma não destrutiva induziu o desenvolvimento de outras tentativas de se quantificar a murcha de fusário de forma indireta. Por exemplo, murcha e clorose são usualmente utilizadas para quantificar sintomas secundários da doença. A clorose (amarelecimento associado à perda de clorofila) em plantas atacadas é normalmente avaliada qualitativamente de forma visual. Entretanto, diversos autores já evidenciaram a eficiência de se medir o teor de clorofila por meio de um medidor eletrônico, que permite que se obtenham informações precisas e instantâneas do teor de clorofila na folha sem destruí-la (Argenta *et al.*, 2001; Zotarelli *et al.*, 2003; Bennet *et al.*, 2008; Rozane *et al.*, 2009 citados por Correa & Alves, 2010). Portanto, existe a possibilidade de se estimar o efeito de diferentes manejos culturais na murcha de fusário através da estimativa quantitativa do teor de clorofila das folhas.

Da maneira análoga, plantas em estresse hídrico tem a transpiração reduzida e consequentemente, tendem a apresentar temperaturas foliares superiores às de plantas em equilíbrio hídrico. Esse estresse pode ser associado tanto à falta de água no solo, quanto ao estado de infecção por *Fusarium*. Daly (1976) e Duniway (1976) constataram que processos difusivos das plantas hospedeiras são afetados por patógenos vasculares.

Em condições normais a temperatura foliar é mais baixa que a temperatura ambiente, mas em plantas sob estresse, estas tendem a apresentar temperatura foliar acima da ambiental (Burrage, 1978; Machado *et al.*, 1994; Nogueira *et al.* 1998). Distúrbios no funcionamento de estômatos e aumento da resistência ao fluxo e absorção de água pelas raízes afetam as relações hídricas de plantas doentes, tornando-as mais sensíveis à deficiência hídrica, mesmo em condições adequadas de umidade no solo. (Duniway 1976; Syvertsen *et al.*, 1976). Desta forma, medidas da temperatura foliar em plantas com poucos sintomas aparentes da murcha de fusário podem ser úteis como ferramenta auxiliar para descrever alterações na fisiologia da planta hospedeira associadas à doença de forma precoce, i.e., antes mesmo dos sintomas de clorose ou murcha.

Safiuddin *et al.* (2012) estudaram as perdas decorrentes de diferentes concentrações de inóculo de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* no solo. Foram encontradas perdas significativas em matéria fresca, matéria seca, comprimento de raízes e caule, além de perda em número de frutos e peso de frutos em concentrações a partir de 1g de inóculo por Kg de solo, quando comparadas com o controle não inoculado. Assim sendo, estimativas de produção e produtividade também podem ser utilizadas como medidas fisiológicas auxiliares do efeito de diferentes tratamentos na murcha de fusário.

### 1.3 Manejo da doença

Não há atualmente medidas químicas de controle efetivas e economicamente viáveis para se utilizar em locais infestados por *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Blancard, 1996), o que aumenta a importância da utilização do princípio da exclusão. Não permitir a entrada do patógeno na área de cultivo e a utilização de cultivares resistentes geneticamente são meios seguros e eficientes para seu controle (Kurozawa & Pavan, 2005), principalmente em ambientes protegidos (Vale *et al.*, 2000; Vida *et al.*, 2004).

No que se refere ao princípio da erradicação, Momma *et al.* (2006) testaram a desinfestação biológica com ácidos orgânicos em solo infestado com *Ralstonia solanacearum* e *Fol*. Foi observada a redução da população da bactéria quando utilizada baixa concentração dos ácidos, no entanto a população do fungo sobreviveu aos tratamentos.

Em outro trabalho, Momma *et al.* (2010) estudaram a eficácia da utilização de solução de etanol para a desinfestação biológica de solo contaminado com *Fol*. Os resultados apontaram para um decréscimo significativo na sobrevivência dos conídios e clamidósporos em solos saturados por etanol em laboratório. Em experimentos de campo o solo foi infestado, artificialmente, por uma estirpe não patogênica de *F. oxysporum*, sendo que esta, juntamente com o *F. oxysporum* nativo, foram reprimidos pela saturação do solo com 1% de etanol. Este tratamento não se mostrou eficiente em solos pré autoclavados, demonstrando que a saturação por etanol somente é eficiente na presença de outros micro-organismos presentes no solo. Entretanto, a aplicação prática de tal medida em campo parece inviável, dados os custos e a logística a ela associados.

No que se refere ao controle biológico, Steinkellner *et al.* (2011) em um ensaio de interação simbiótica micorrízica de 10 cultivares de tomate com *Glomus mosseae*, com e sem infecção por *Fol*, constataram efeitos bioprotetivos da micorriza em todos os ensaios onde ocorreu a infecção por *Fol*. Mishra *et al.* (2009) estudaram o controle biológico de *Fol* utilizando cinco espécies de *Aspergillus* e outras cinco de *Trichoderma*, *in vitro*. *T. harzianum* foi a espécie mais efetiva, tanto como cultura viva, quanto na forma de filtrado de cultura, seguido de *A. niger*. Ardebili *et al.* (2011) em estudos de interação entre *Pseudomonas fluorescens* e *Fol* em tomateiros observaram que a presença da bactéria inibiu o crescimento do fungo em aproximadamente 50%.

Hadian *et al.* (2011) utilizaram pó de sementes de neem (*Azadirachta indica*) para tratamento do solo, na proporção de 50g/Kg de solo, e outros tratamentos de solo, onde se plantou tomate inoculado com *Fol* e *Meloidogyne incognita*. Após sessenta dias, observou-se que Carbofuran fora efetivo contra o nematoide, Bavistin contra o fungo, mas apenas o tratamento com neem fora efetivo contra os dois patógenos. Em comparação com o tratamento controle, houve redução de 85% para 12% da severidade da doença, além de diferença significativa no crescimento das plantas.

Outra possibilidade a ser considerada para o manejo integrado da murcha de fusário é a utilização em conjunto de técnicas de manejo cultural. A densidade de plantas, o espaçamento, a correta adubação, e, principalmente, o manejo da água de irrigação têm influência direta sobre o aparecimento de doenças, e, somadas a outras técnicas, como solarização, compostagem ou biofumigação, podem ser utilizadas para seu controle (Café Filho & Lobo Júnior, 2000; Lopes *et al.*, 2006).

### 1.3.1 Manejo da água de irrigação

A água é um elemento essencial na agricultura, e o solo, seu reservatório natural (Loyola & Prevedello, 2003). Manejar a água de irrigação é, basicamente, definir quando, quanto e como irrigar, sendo esta uma das técnicas agronômicas que surtem maior efeito no aumento da produção e da qualidade de alimentos, energia e fibras, possibilitando também um menor uso de fertilizantes e defensivos agrícolas. Sua utilização em regiões com alto potencial produtivo mas com longos períodos de seca, como ocorre no bioma Cerrado e no Semiárido brasileiro, gera um alto ganho de áreas agricultáveis para o país (Lopes *et al.*, 2006). O manejo da irrigação não deve ser considerado uma prática isolada, mas sim parte de um conjunto de técnicas que busquem a melhor utilização dos recursos naturais para uma produção econômica (Mantovani *et al.*, 2003).

O potencial de terras a serem irrigadas no Brasil, em 2007, era de aproximadamente 29,4 milhões de hectares (FAO, 2011). O Brasil em 2002 já ocupava a 13ª posição entre os países com maiores áreas irrigadas, com 3,2 milhões de hectares efetivamente irrigados, correspondendo a 5% da área cultivada no país (Christofidis, 2002).

Cada tipo de solo possui uma capacidade diferente de retenção de água. A partir da curva de retenção de água no solo, que correlaciona a umidade com o estado energético da água, é possível quantificar o volume de água que pode ser armazenado pelo solo e ficar disponível para as plantas. De acordo com o limite superior de umidade no solo e a profundidade do sistema radicular é possível quantificar o volume de água que deve ser aplicado via irrigação (Lopes *et al.*, 2006). A energia da água livre é igual à da água em um sistema cujos poros estão completamente ocupados por ela, ou seja, por exemplo, em um solo saturado a ela é atribuído o valor zero. Para a planta retirar água do solo há um gasto de energia, que será tanto maior quanto mais seco estiver o solo (Villa Nova *et al.*, 1996).

O efeito da irrigação na lavoura determina o vigor das plantas, sua taxa de crescimento, o desenvolvimento de seus órgãos e a duração de sua fase vegetativa, e pode, indiretamente, levá-la a uma predisposição a doenças (Rotem & Palti, 1969). Já os patógenos do solo não são afetados somente pela alteração da microbiota e da aeração do solo, mas também pela flutuação do nível de umidade do solo, fator de grande importância para a preservação e dispersão do inóculo (Lopes *et al.*, 2006).

O “triângulo da doença” é conhecido como a interação entre patógeno, ambiente e planta hospedeira. A presença de patógeno virulento, ambiente favorável ao patógeno e hospedeira suscetível são os fatores necessários para a manifestação dos sintomas da doença. Entre os fatores ambientais, os que exercem maior influência sobre o processo

infeccioso são: a umidade e a temperatura do ar próximo ao dossel vegetativo e a umidade do solo (Lopes *et al.*, 2006). Com isso, pode-se afirmar que ao se irrigar uma cultura o ambiente é profundamente modificado, de maneira menos intensa somente se comparado ao cultivo protegido (Rotem & Palti, 1969).

A prática de irrigação altera o microclima e as características físicas do solo, o que afeta a sobrevivência, disseminação e infectividade dos patógenos, influenciando o desenvolvimento de doenças. Seu uso inadequado pode não só aumentar a intensidade de doenças já existentes na região, mas também fazer com que outras doenças, secundárias ou desconhecidas, ganhem maior importância (Lopes *et al.*, 2006).

Rekah *et al.* (2001) afirmaram que solos supressivos têm grande importância para o controle da murcha de fusário em tomateiro na fase infectiva da doença. Peng *et al.* (1999), por meio do correto manejo da irrigação, controle do pH e do balanço nutricional do solo tiveram sucesso no controle do mal-do-Panamá em bananeira, cujo patógeno causador é *F. oxysporum* f. sp. *cubense*.

Especificamente para o tomateiro, de 32 práticas agronômicas listadas para o controle de doenças, o manejo da irrigação figura em terceiro lugar em importância, superada somente pelo controle químico e pela eliminação de restos culturais (Lopes & Ávila, 2005). Um exemplo disto é a substituição da irrigação por aspersão no tomateiro pelo gotejamento, o que reduz a incidência de doenças foliares como a mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) e pinta preta (*Alternaria solani*), porém aumenta a ocorrência de oídio (*Leveillula taurica*), pela ausência de molhamento foliar, e da murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), que é favorecida pela constante umidade na rizosfera (Marouelli *et al.*, 2005). Ainda, segundo Marouelli *et al.* (2006) a ocorrência de doenças de solo em tomateiro pode ser prevenida com o correto manejo



da irrigação, principalmente nos primeiros 10 dias, além de promover o aprofundamento do sistema radicular.

Para patógenos vasculares, como *Verticillium dahliae*, *Ralstonia solanacearum*, *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis* e *Fusarium oxysporum*, o processo fisiológico que desencadeia o aparecimento da doença deve ser analisado em duas fases: (i) nos estágios iniciais da epidemia, onde a maior disponibilidade de água favorece a infecção, e (ii) após a colonização dos tecidos, nos estágios mais avançados da epidemia, quando o patógeno e substâncias produzidas por ele e pelo hospedeiro obstruem os vasos, dificultando a passagem de água e nutrientes agravando os sintomas (Schnathorst, 1981).

Na primeira fase, em solo com umidade próxima a da capacidade de campo, ocorrerá uma maior absorção e translocação de água nos vasos, favorecendo a infecção do patógeno nos tecidos (Cook & Papendick, 1972). Na segunda fase, condições de alta disponibilidade de água no solo compensarão parcialmente os vasos obstruídos, ao passo que condições de déficit de água desencadearão os sintomas de murcha de forma mais severa. (Lopes *et al.*, 2006). Estudos preliminares com duração limitada (42 dias), conduzidos em vasos de 10 L (Lapidus *et al.*, 2011) indicaram que a manutenção de níveis mais baixos de umidade atrasam o início das epidemias de murcha de *Fusarium* em latossolos de Cerrado.

Este trabalho teve como objetivo analisar o desenvolvimento temporal da murcha de fusário em tomateiro irrigado sob diferentes disponibilidades de água no solo.

## 2. Material e Métodos

Foram implantados dois experimentos para examinar o efeito de regimes de irrigação no progresso temporal da murcha de fusário em tomateiro. Um primeiro experimento instalado para avaliar o progresso temporal nos estágios iniciais da epidemia foi conduzido em vasos, em casa de vegetação de vidro com temperatura controlada, encerrado aos 82 dias após o transplântio. Simultaneamente, um segundo experimento, foi implantado em condições de microparcels, constituídas por tanques de solo com capacidade para seis plantas de tomate, e cobertura plástica semitransparente, para avaliar o progresso durante o curso total da epidemia, encerrado aos 141 dias após o transplântio.

### 2.1 Época e condições gerais dos ensaios

Ambos os experimentos foram implantados em abril de 2012 na Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília (UnB). O experimento em casa de vegetação foi conduzido em vasos de 10 L até julho de 2012. O experimento em microparcels foi conduzido em tanques de concreto de 0,64 m<sup>3</sup> com cobertura de telhas plásticas semitransparentes, para evitar interferência de chuvas, até setembro de 2012. Ambos contaram com tratos culturais comuns aos tomateiros comerciais convencionais, estaqueamento, desbrota manual semanal e aplicação dos defensivos Dupont Premio® (inseticida) e BASF Kumulus S® (acaricida/fungicida) de acordo com especificações dos fabricantes. Os ensaios em laboratório foram executados no Laboratório de Epidemiologia Botânica do Departamento de Fitopatologia da UnB.

### 2.2 Obtenção e cultura do *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Foi utilizado um isolado mutante de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, resistente ao fungicida Benomil, com o objetivo permitir a recuperação e o monitoramento da

população no solo, distinguindo o patógeno em estudo de outras formas de *F. oxysporum* eventualmente presentes no ambiente. Este isolado foi obtido e caracterizado como pertencente à raça 2 na Universidade Federal de Viçosa (Lage, 2009). Culturas deste isolado foram preservadas em talco a 4 °C. Para recuperação, as culturas foram diluídas e plaqueadas em meio BSA (batata, sacarose e ágar) adicionado de 10 mg/L de Benomil (50% i.a.) e 400 mg/L de Cloranfenicol (Lage, 2009). As culturas foram mantidas em câmara de crescimento a 25 °C, com fotoperíodo de 12 h, por 7 dias. Quatro colônias, denominadas Fol-01, Fol-02, Fol-03 e Fol-04, foram selecionadas de acordo com suas características morfológicas e repicadas em BSA não-seletivo (meio BSA sem Benomil), sendo transferidas para câmara a 25 °C, com fotoperíodo de 12 h. Após as culturas terem colonizado toda a superfície das placas (9 cm), realizou-se a raspagem das culturas, com alça de Drigalski e água destilada para liberação dos esporos e filtragem em camada dupla de gaze. As concentrações de conídios foram ajustadas para  $1,5 \times 10^7$  conídios/mL em câmara de Neubauer para seleção de isolados.

### **2.3 Teste de patogenicidade, seleção de isolado e seleção de cultivar- teste de tomateiro**

Foram cultivadas mudas de tomate das cultivares Santa Clara 5800 e Santa Cruz Kada Gigante, em casa de vegetação, em bandeja de poliestireno expandido de 128 células, preenchidas com composto estéril para viveiro. As sementes foram tratadas previamente com Captan 75 a 0,15%. Aos 20 dias após a semeadura, as mudas tiveram as raízes lavadas em água corrente, para a retirada do substrato, e foram cortadas a 2 cm abaixo da região do coleto com o auxílio de uma tesoura. As raízes foram mergulhadas nas suspensões de Fol anteriormente descritas contendo  $1,5 \times 10^7$  conídios/mL, por 5 minutos, sendo utilizadas 5 mudas de cada cultivar para cada isolado de Fol. Como testemunha, utilizou-se 5 mudas de cada cultivar que foram mergulhadas em água

destilada As mudas foram transplantadas para vasos de 1 L, com solo não corrigido, totalizando 50 vasos.

Para escolha do isolado mais agressivo e da cultivar com maior susceptibilidade, a severidade da doença foi avaliada duas vezes por semana utilizando a escala proposta por De Cal *et al.* (1995): 0 = plantas sadias com ausência de sintomas externos; 1 = folhas baixas amareladas; 2 = folhas baixas mortas e algumas folhas superiores amareladas; 3 = folhas baixas mortas e superiores murchas; 4 = plantas mortas.

## **2.4 Re-isolamento e cultura do *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici***

As plantas inoculadas de ambas cultivares foram coletadas, a fim de se reisolar o patógeno, e confirmar a presença de *Fol* nos vasos do hospedeiro. Foram feitos cortes de aproximadamente 6 mm nos caules de plantas sintomáticas, que foram lavados em álcool 70% por 1 minuto, em seguida em hipoclorito de sódio a 2% por 3 minutos, e em água destilada por 30 segundos. Os cortes foram dispostos em placas contendo BSA seletivo (BSA acrescido de Benomil 10 mg/L) e colocados em câmara a 25 °C, com fotoperíodo de 12 h. Após 7 dias, os isolados foram repicados para BSA não seletivo e transferidos novamente para câmara a 25 °C, com fotoperíodo de 12 h. Para cultivo do inóculo e posterior obtenção de clamidósporos, após o fungo ter tomado as placas por completo foram retirados discos de meio que foram colocados em frascos Erlenmeyers com 100 mL de meio líquido BS não seletivo, que ficaram em agitação por 5 dias, à 150 rpm, em temperatura ambiente.

## **2.5 Obtenção de clamidósporos**

Para a obtenção de clamidósporos de *Fol* foram utilizados sacos plásticos contendo 500g de vermiculita, enriquecida com meio líquido BD (batata e dextrose), na

proporção de 1,5 mL/g. Após autoclavagem, foi adicionado ao substrato aproximadamente 40 mL de cultura de Fol em meio líquido e 2g de Cloranfenicol.

Os sacos foram deixados fechados por 20 dias sobre bancadas do laboratório, em temperatura e fotoperíodo ambientes. Para uniformização do inóculo, os sacos foram agitados e mudados de posição a cada 3 dias. Após este período os sacos foram abertos, e seu conteúdo deixado para secar por 10 dias embrulhados em jornal, e, por mais 10 dias em condição ambiente.

Após a secagem, o substrato foi moído 2 vezes em moinho de discos Marconi MA700. A quantificação do número de propágulos por volume de vermiculita foi efetuada em placas de Petri descartáveis contendo meio GNA com pH ajustado para 6,5, composto por 10g de galactose, 15g de agar, 1g de fosfato monopotássico, 0,5g de sulfato de magnésio, 2g de nitrato de sódio e 0,3g de metabissulfito de sódio ou potássio para 1 litro de água destilada (Dhingra & Sinclair, 1995) acrescido de benomil (10mg/L) e cloranfenicol (400mg/L).

## **2.6 Preparo e inoculação das unidades experimentais**

Para o experimento em casa de vegetação, o substrato foi preparado em betoneira com capacidade para 110 L, conforme Quadro 1, sendo pasteurizado com vapor a temperatura de 100 °C por 24 h. Para infestação do solo, utilizou-se betoneira com capacidade para 40 L. O substrato de cada vaso foi infestado com 2.000 clamidósporos/g de solo, misturado por cinco minutos. O substrato infestado foi colocado em vasos de 10 L. Um número igual de vasos foi preenchido com solo não infestado. A análise química e física do substrato preparado encontra-se em anexo.

Para o experimento em tanques, todo o solo presente nos tanques foi retirado, homogeneizado e analisado química e fisicamente. Após a análise o solo foi corrigido para alcançar as mesmas características do substrato utilizado nos vasos. A partir de sua

base, os tanques foram preenchidos até 40 cm de altura com solo livre do patógeno, os 30 cm seguintes foram preenchidos com solo infestado com 2.000 clamidósporos/g de solo, em betoneira com capacidade para 40 L, misturado por cinco minutos. Os 10 cm superiores foram preenchidos com solo livre do patógeno.

## **2.7 Descrição e instalação dos tratamentos de irrigação**

Dois experimentos foram conduzidos separadamente para estudar os efeitos do manejo da irrigação no estágio inicial da epidemia (experimento em vasos de 10 L) e durante todo o curso da epidemia de murcha de fusário (experimento em microparcelas de 0,64 m<sup>3</sup>). Como tratamentos considerou-se o manejo da água de irrigação a partir de quatro diferentes níveis de água disponível no solo, 90%, 70%, 50% e 30% correspondente às tensões de 6 kPa, 17 kPa, 46 kPa e 135 kPa. Como tratamento controle, plantas foram conduzidas com os mesmos tratamentos de irrigação e número de repetições de cada experimento, sem a infestação do solo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições em casa de vegetação, e quatro tratamentos e três repetições no experimento em microparcelas.

A parcela experimental em casa de vegetação foi constituída por quatro vasos de 10 L e em cada vaso foram transplantadas duas mudas de tomateiro, totalizando oito plantas por parcela. No experimento em microparcelas, a unidade experimental foi formada por um tanque de superfície 80 cm x 80 cm, com profundidade de 1,0 m, onde foram transplantadas seis mudas.

Em casa de vegetação, nas parcelas manejadas com disponibilidades de 90%, 70% e 50% foram instalados 2 tensiômetros, em vasos separados. Nas parcelas manejadas com disponibilidade de 30% foram instalados 2 sensores de tensão do tipo

Irrigas (Marouelli & Calbo, 2009), um ajustado para 110 kPa e outro para 130 kPa, além de 1 tensiômetro, sendo os 3 sensores em vasos separados.

No experimento em microparcelas, nas unidades manejadas com disponibilidades de 90%, 70% e 50% foram instalados 3 tensiômetros por parcela. Nas parcelas manejadas com disponibilidade de 30% foram instalados 2 sensores de tensão do tipo Irrigas (Marouelli & Calbo, 2009), um ajustado para 110 kPa e outro para 130 kPa.

Os tensiômetros foram instalados inicialmente à profundidade de 5 cm abaixo da superfície do solo. Ao 14º dia após o transplântio (DAT) eles foram aprofundados para 10 cm abaixo da superfície do solo, acompanhando o desenvolvimento esperado das raízes.

Foram utilizadas mudas da cv. Santa Cruz Kada Gigante, produzidas em viveiro comercial. As mudas foram transplantadas para as parcelas experimentais com aproximadamente 12 cm de altura e um par de folhas verdadeiras.

## **2.8 Manejo da irrigação**

Após o transplântio, as tensões de água no solo foram avaliadas diariamente, no período matutino. As leituras dos tensiômetros foram realizadas utilizando-se tensímetro digital, com precisão de 0,01 kPa. Visando garantir o uniforme pegamento das mudas, as irrigações foram uniformes e diárias até o 4º DAT (dias após o transplântio) para todos os tratamentos. Após este período, as parcelas foram irrigadas sempre que a média das repetições de cada tratamento superava os limites de tensão estabelecidos para cada tratamento. As parcelas com disponibilidade de 30% foram irrigadas sempre que metade ou mais dos sensores Irrigas indicavam a necessidade de irrigação, ou seja, quando a tensão de água no solo superava o limite de 135 kPa.

O volume de água aplicado a cada irrigação nos diferentes tratamentos (Quadro 2) foi determinado com base nas características de retenção de água no solo de forma que a tensão de água após cada irrigação atingisse 3 kPa (“capacidade de campo” para as condições de vaso). A retenção de água no solo ( $\theta$ , em % vol.), no intervalo de tensão ( $\Psi_m$ ) de 3 a 1.500 kPa, foi ajustada ao modelo de Van Genuchten (1980), produzindo a seguinte equação:

$$\theta(\Psi_m) = 22,6 + 17,3 / \left[ 1 + (0,085 \times \Psi_m)^{0,701} \right]^{0,549}$$

Utilizando-se a equação acima, para determinar o teor atual de água no solo a partir da média das leituras dos tensiômetros, e considerando-se a tensão de 3 kPa para determinar a umidade máxima do solo, garantiu-se que não ocorresse perda significativa de água por drenagem.

As irrigações foram realizadas manualmente, sendo o volume de água aplicado em cada parcela medido com auxílio de uma proveta graduada, conforme Quadros 2 e 3. A fim de possibilitar uma umidificação uniforme do solo dentro do vaso, a água foi aplicada lentamente sobre toda a superfície.

## 2.9 Avaliação de sintomas de fusariose

A intensidade da murcha de fusário foi avaliada em cada experimento duas vezes por semana, sendo a incidência calculada pela porcentagem de plantas com sintomas e a severidade segundo a escala proposta por De Cal et al. (1995). Periodicamente, como medidas indiretas da doença, foram também avaliadas a altura das plantas, o teor de clorofila das folhas e a temperatura foliar. Ao final do experimento, foi mensurado o comprimento interno das partes descoloridas do xilema de todas as plantas inoculadas e controle. A produção total de frutos foi determinada no experimento em microparcels.



A partir dos dados de severidade da doença, estimou-se a taxa de progresso da doença ( $r$ ), a severidade na metade do curso temporal da epidemia ( $Y_{50}$ ), a severidade ao final da epidemia ( $Y_{\text{máx}}$ ), a época de início da epidemia ( $t$ , quando  $Y = 0,0$ ) conforme Madden *et al.* (2007), e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme proposto por Shaner & Finney (1977). Os valores de taxa de progresso da doença ( $r$ ) em cada tratamento foram estimados por regressão linear.

A avaliação de altura foi realizada em todas as plantas, da superfície do solo até a gema apical. Estas avaliações foram feitas quinzenalmente após o transplântio, até as plantas alcançarem a altura máxima suportada pelas coberturas das áreas experimentais.

O teor de clorofila das folhas foi estimado semanalmente, utilizando-se o clorofilômetro modelo SPAD 502 da Spectrum Technologies, com margem de erro de  $\pm 1$  unidade SPAD. Mediu-se a clorofila da primeira e terceira folha a partir da base em duas plantas de cada parcela, considerando-se a média obtida de todos os folíolos destas folhas, como variável experimental.

Semanalmente foram feitas medições da temperatura foliar, utilizando termômetro infravermelho Karknee modelo DT-530, com erro de  $\pm 2\%$ . As medidas foram feitas às 9 h da manhã, na distância de um cm da folha. Em duas plantas de cada parcela, mediu-se a temperatura de 2 folhas ao acaso, considerando-se a média obtida de todos os folíolos como variável experimental.

Ao final do experimento foi avaliada, internamente ao caule da planta, a altura atingida pela lesão com auxílio de uma régua graduada em centímetros. As plantas foram medidas, e em seguida cortadas no sentido longitudinal, permitindo a visualização da descoloração do xilema causado pela doença. As medidas foram efetuadas a partir da base em direção ao ápice, até que a lesão não fosse mais visível a

olho nu. O percentual da planta que apresentou lesões internas por avaliação visual foi calculado para cada tratamento (altura da lesão/altura da planta).

No experimento em microparcelas a produção de frutos comerciais maduros de cada parcela foi determinada de acordo com o volume produzido, o número de frutos e o peso médio do fruto. O número de frutos foi obtido por meio de contagem simples, sem classificação pelo tamanho. O peso foi obtido em balança digital com erro instrumental de 0,05 g.

## **2.10 Monitoramento da população do patógeno em solo**

A fim de acompanhar a evolução da população do fungo no solo no decurso das epidemias foram feitas amostragens e plaqueamentos do solo, quinzenalmente.

No experimento em vasos na casa de vegetação foram coletadas sub-amostras de 0 a 10 cm de profundidade, dos 4 vasos de cada parcela infestada, formando 20 amostras compostas. No experimento em microparcelas, foram coletadas 3 subamostras de cada parcela, na profundidade de 10 – 20 cm. As amostras foram secadas em estufa a 37 °C até peso constante. Em 90 mL de água destilada e estéril foram diluídos 10 g de solo. Em seguida as amostras foram agitadas por 20 minutos a 200 rpm. Para o plaqueamento foram utilizadas placas de Petri com GNA (galactose, nitrato e ágar) seletivo acrescido de Cloranfenicol (400 mg/L) (Lage, 2009), onde foram espalhadas alíquotas de 100 µL de suspensão. Foram utilizadas 2 placas para cada amostra, totalizando 40 placas por análise das casas de vegetação e 24 placas por análise do telado.

As amostras foram incubadas em BOD, com fotoperíodo de 12 h e temperatura de 27 °C. Após 10 dias foram contados o número de colônias formadas em cada placa.

## **2.11 Monitoramento das condições ambientais**

Para o monitoramento das condições ambientais foram instalados Data Loggers modelo WatchDog 1450 (Spectrum Technologies, Inc.) com sensores internos de temperatura e umidade relativa do ar ambiente e sensores externos com termômetros eletrônicos no solo. No experimento com tanques também foram utilizados sensores de molhamento foliar a 10 cm acima do nível do solo, no centro dos blocos 1 e 3. Contaram com sensores de temperatura do solo as microparcelas infestadas: Bloco I 90% e Bloco III 30%. Nos vasos foram instalados nas parcelas infestadas: Bloco I 90% e 30%; Bloco II 70% e Bloco V 90%. Nos vasos não infestados nas parcelas: Bloco II 50%, Bloco IV 70% e Bloco V 30%.

### 3. Resultados

#### 3.1 Progresso temporal nos estágios iniciais da epidemia

No experimento conduzido em vasos dentro de casa de vegetação (estágios iniciais da epidemia), o turno de rega dos tratamentos com 90% de disponibilidade total de água no solo (DTA) ficou em 1,01 dias, e o total de água utilizado foi de 31,08 L e 33,59 L, nas parcelas infestadas e controle, respectivamente. O tratamento de 70% de DTA infestado apresentou turno de rega de 1,42 dias, totalizando 28,21 L, enquanto no tratamento controle o turno de rega foi de 1,3 dias e a água utilizada 31,41 L. O tratamento de 50% de DTA infestado apresentou turno de rega de 2,79 dias, com o total de 18,51 L de água utilizada, enquanto o tratamento controle apresentou o turno de rega de 2,44 dias e o total de 20,92 L de água utilizada. Os tratamentos de 30% de DTA apresentaram turno de rega de 5,57 dias/irrigação, 12,87 L de água utilizada tanto em solo infestado quanto no controle. O número total de irrigações e demais variáveis também se encontram representadas na Tabela 1 e na Figura 1.

O tratamento de 30% de DTA atrasou o surgimento da doença em 14 dias, com relação aos demais tratamentos (Figura 2). Esta diferença na incidência se manteve no  $Y_{50\%}$ , aos 54 dias após o transplântio (DAT), onde o tratamento de 30% de DTA, com incidência de 45%, diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, que apresentaram incidência maior ou igual a 75% (Tabela 2). A curva de incidência da murcha do tratamento de 30% de DAT foi sempre inferior a dos demais, enquanto que as curvas de incidência dos tratamentos com 70% e 90% de DAT foram as mais severas (Figura 2A) e a curva do tratamento 50% de DTA intermediária. Não houveram diferenças significativas nas taxas de progresso da doença ( $r$ ) entre os tratamentos (Tabela 2).

Os resultados da análise de severidade, utilizando a escala proposta por De Cal *et al.* (1995), foram análogos aos encontrados com as medidas de incidência (Figura 2B). No  $Y_{50\%}$ , aos 54 DAT, no tratamento de 30% de DTA, a severidade de 11,25%, foi significativamente inferior a dos demais tratamentos. O tratamento de 50% de DTA apresentou um nível intermediário de severidade (30%), enquanto que a severidade foi significativamente maior nos tratamentos de 70% e 90% de DTA (52,5% e 55%). O tratamento de 50% de DTA apresentou nível intermediário de severidade (Tabela 2). No  $Y_{máx}$ , aos 82 DAT o tratamento de 30% de DTA apresentou a menor severidade, de 36,25%. O tratamento de 50% de DTA, com severidade de 62,5%, diferiu significativamente do tratamento de 90% de DTA, com severidade de 86,25%. O tratamento de 70% de DTA, com severidade de 82,5% apresentou resposta intermediária (Tabela 2). Na análise da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), o tratamento de 30% de DTA, com área de 1,9 severidade\*dia foi estatisticamente inferior aos demais. O tratamento de 50% de DTA, com área de 4,04 severidade\*dia também diferiu dos tratamentos mais úmidos, de 70% e 90% de DTA, com AACPD maiores que 7,0 severidade\*dia (Tabela 2).

Os dados de AACPD foram ajustados em regressão linear pela disponibilidade total de água no solo (%), tensão de água no solo (kPa) e logaritmo da tensão de água no solo [Log(kPa)]. As regressões foram significativas em todas as análises, demonstrando que a AACPD tende a aumentar com a disponibilidade de água no solo ( $R^2 = 0,78$ ) (Figura 3A) e a diminuir com o aumento da tensão matricial ( $R^2 = 0,74 - 0,78$ ) (Figuras 3B, C).

Na análise da temperatura das folhas no  $Y_{50\%}$ , aos 54 DAT, não houve interação entre a disponibilidade de água no solo e a infestação do patógeno. Apenas o tratamento de 30% de DTA, com temperatura média mais baixa, diferiu dos demais (Tabela 3).

O teor de clorofila em unidades SPAD decresceu ao longo do experimento, independente da disponibilidade de água ou da infestação do solo (Figura 4). O teor de clorofila das folhas no  $Y_{50\%}$ , aos 54 DAT, foi máximo no tratamento de 30% de DTA, com 35,87 Unidades de SPAD (US) (Tabela 3). Aos 82 DAT novamente o tratamento de 30% de DTA, apresentou o maior valor de clorofila com valor de 33,27 US, enquanto o tratamento de 50% de DTA exibiu posição intermediária (Tabela 3). Considerando a soma de todas as medições ao longo do experimento, os tratamentos infestados diferiram estatisticamente dos controles somente no tratamento de 50% de DTA, onde os infestados apresentaram o valor de 339,97 US e o controle o valor de 288,97 US, com coeficiente de variação de 7,42% (Tabela 3; Figura 4).

A disponibilidade de água para as plantas afetou seu desenvolvimento, como pode ser observado na diferença de altura das plantas (Tabela 4). No  $Y_{50\%}$ , aos 54 DAT, a altura das plantas no tratamento de 30% de DTA foi significativamente menor que os demais tratamentos seguido pelo tratamento de 50% de DTA (Tabela 4). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos de 70% e 90% de DTA, que apresentaram os maiores crescimentos (Tabela 4). No  $Y_{máx}$ , aos 82 DAT, as diferenças observadas em  $Y_{50\%}$  foram mantidas (Tabela 4).

As lesões visíveis no interior do caule diferiram significativamente entre os tratamentos, de modo que, quanto maior a DTA, maior a altura relativa da lesão interna. Os tratamentos de 90% e 30% de DTA destacaram-se, com a menor, 20,82% e a maior, 62,50% lesão no caule, respectivamente. Os tratamentos de 70% e 50% de DTA apresentaram valores intermediários, de 32,04% e 35,92% do comprimento do caule afetado, respectivamente (Figura 5).

A população do patógeno detectável em solo, medidas em unidades formadoras de colônia (UFC) por grama de solo, manteve modesto crescimento no decorrer do experimento em todos os tratamentos, aumentando significativamente após a colheita (Figura 6). No  $Y_{50\%}$ , aos 54 DAT, foram detectados valores entre 180 UFC/g de solo, no tratamento de 50% de DTA e 390 UFC/g de solo, no tratamento de 70% de DTA, não diferindo estatisticamente. No  $Y_{máx}$ , aos 82 DAT, os valores variaram entre 480 UFC/g de solo, no tratamento mais úmido, de 90% de DTA e 970 UFC/g de solo, no tratamento mais seco, de 30% de DTA, também sem diferenças significativas entre eles. No entanto pode-se observar um grande aumento neste número aos 97 DAT, 15 dias após a retirada das plantas, quando o valor chegou a 2740 UFC/g de solo no tratamento mais úmido, de 90% de DTA e de 1580 UFC/g de solo no tratamento mais seco, de 30% de DTA, também não diferindo estatisticamente (Tabela 4).

### **3.2 Progresso temporal durante o curso completo da epidemia em microparcels**

No experimento em microparcels, os turnos de rega aumentaram de 1,06 dias para 10,07 dias, e de 1,05 dias para 7,55 dias dos tratamentos mais úmidos para os mais secos, nas parcelas inoculadas e controle, respectivamente. O número de irrigações foram reduzidas dos solos mais úmidos para os mais secos, de 143 para 15 e de 144 para 20, nas parcelas infestadas e controle, respectivamente, conforme esperado (Tabela 5). O total de água utilizado em cada tratamento aumentou com o aumento de DTA e foi sempre maior nas parcelas controle que nas infestadas no mesmo nível de DTA (Figura 7).

As diferenças entre os tratamentos foram pouco evidentes em alguns parâmetros, mas de grande valia em outros. A incidência alcançou 100% em todos os tratamentos no

$Y_{\text{máx}}$ , aos 141 DAT (Figura 8A). Aos 82 DAT, quando o experimento em vasos apresentou incidência entre 90%, no tratamento mais seco, e 100% nos demais tratamentos (Figura 2-A), o experimento em microparcelas apresentou incidência entre 27,8%, no tratamento mais úmido (90% de DTA) e 44,4% no tratamento mais seco (30% de DTA). As taxas de progresso da doença ( $r$ ), que variaram entre  $2,52 \times 10^{-2}$  no tratamento mais úmido e  $3,39 \times 10^{-2}$  no tratamento de 70% de DTA, entretanto as diferenças entre os tratamentos não foram significativas (Tabela 6).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de severidade aos 82 DAT, 101 DAT e 141 DAT (Tabela 6). Em valores nominais a severidade foi maior no tratamento de 90% de DTA aos 82 DAT e maior no tratamento de 30% de DTA no  $Y_{50\%}$  (101 DAT) e  $Y_{\text{máx}}$  (141 DAT) (Tabela 6; Figura 8-B). A AACPD também não apresentou diferença significativa, variando entre 6,07 severidade\*dia no tratamento de 70% de DTA e 9,53 severidade\*dia no tratamento mais seco, de 30% de DTA (Tabela 6).

As regressões lineares das AACPD pela disponibilidade total de água no solo (%), tensão de água no solo (kPa) e logaritmo da tensão de água no solo [ $\text{Log}(\text{kPa})$ ] não se mostraram significativas no experimento em microparcelas aos 82 DAT e aos 141 DAT (dados não apresentados).

A temperatura média das folhas variou fortemente com as condições ambientais dos dias leitura (Figura 9). Aos 40 DAT a temperatura das folhas aumentou proporcionalmente à redução da DTA e foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos de 90% de DTA e 30% de DTA, com valores de 17,76 °C e 18,19 °C respectivamente (Tabela 7).



O teor de clorofila das folhas apresentou diferença significativa entre os tratamentos no  $Y_{50\%}$ , (101 DAT), onde os tratamentos mais úmidos, de 90% de DTA e 70% de DTA, apresentaram menores valores que os mais secos, de 50% de DTA e 30% de DTA (Tabela 8). Os tratamentos de 70% de DTA e 50% de DTA mantiveram esta diferença significativa no  $Y_{máx}$ , aos 141 DAT, com valores de 14,45 US e 23,96 US, respectivamente, e coeficiente de variação de 28,27%. Analisando a soma de todos os valores medidos pelo clorofilômetro, o tratamento mais seco, de 30% de DTA, com valor de 601,8 US apresentou maior teor de clorofila que os mais úmidos (90% de DTA e 70% de DTA) (Tabela 7). O tratamento de 50% de DTA, apresentou valor intermediário (Tabela 7, Figura 10) .

O desenvolvimento aéreo inicial das plantas foi prejudicado pela falta de umidade no solo, como pôde ser verificado pela diferença na altura das plantas aos 59 DAT, onde o tratamento de 30% de DTA, com média de 108,31 cm diferiu de todos os demais, assim como o tratamento de 50% de DTA, com média de 147,78 cm (Tabela 8). A altura das plantas dos tratamentos mais úmidos não diferiram entre si, com médias superiores a 175 cm. Aos 141 DAT, mesmo com diferença no valor absoluto de altura das plantas do tratamento mais seco não houve diferença estatística significativa. (Tabela 8)

As lesões no caule não apresentaram diferença significativa ao final do experimento, com valores entre 59,99% do comprimento do caule no tratamento mais seco, de 30% de DTA e 48,81% do comprimento do caule no tratamento mais úmido, com 90% de DTA (Tabela 9). Entretanto a relação entre a porcentagem do caule com sintomas internos e a disponibilidade de água no solo foi inversamente proporcional. (Figura 11).

A dinâmica populacional do patógeno no solo apresentou um crescimento modesto em todos os tratamentos durante o experimento, mas aumentou significativamente após a colheita (Figura 12). No  $Y_{50\%}$ , (101 dias) não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos, que variaram entre 266,67 UFC/g de solo, no tratamento mais seco (30% de DTA) e 658,33 UFC/g de solo no tratamento de 50% de DTA. No  $Y_{máx}$  (141 dias) a população do patógeno apresentou aumento significativo no tratamento mais seco (1450 UFC/g de solo) e se manteve estável nos demais (500 a 700 UFC/g de solo) (Tabela 9). A área abaixo da curva do número de UFC/g de solo foi significativamente maior no tratamento mais seco, de 30% de DTA, com o valor de 5908 UFC\*dia/g de solo em relação ao tratamento de 70% de DTA, com o valor de 4033 UFC\*dia/g de solo. Os tratamentos de 90% de DTA e 50% de DTA não diferiram significativamente entre si, nem dos demais tratamentos (Tabela 9, Figura 12).

A produção de frutos comerciais ao final do experimento nas parcelas infestadas foi menor no tratamento mais seco, de 30% de DTA, com produção total de 3,23 Kg de frutos comerciais e maior nos tratamentos mais úmidos, de 90% de DTA e 70% de DTA, com produções de 6,51 Kg e 5,47 Kg, respectivamente. A produção total do tratamento de 50% de DTA, 5,10 Kg, não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. A mesma tendência foi observada para os tratamentos controle (Figura 13-A). O peso médio dos frutos do tratamento infestado mais seco, de 30% de DTA foi o menor, 36,3 g/fruto, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos infestados, de 90%, 70% e 50% de DTA, com médias de 52,3 g/fruto, 56,5 g/fruto e 50,2 g/fruto, respectivamente, e coeficiente de variação de 10,83%. Com comportamento análogo nos tratamentos não infestados (Figura 13-B).

## 4 Discussão

Em todos os tratamentos em ambos os experimentos foi assegurada a presença de propágulos viáveis de um patógeno virulento (*F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici*) em contato com o hospedeiro suscetível (*Solanum lycopersicum* cv. Santa Cruz Kada Gigante). Apenas o fator do ambiente favorável, necessário para completar o triângulo da doença foi variável. Desta forma todas as diferenças observadas podem ser creditadas ao fator ambiente. A diferença da disponibilidade de água no solo foi o fator ambiental controlado para avaliação.

O turno de rega dos tratamentos em ambos os ensaios experimentais foi inversamente proporcional ao nível de água empregado (Tabelas 1, 5). Em todos os tratamentos os controles apresentaram turno de rega menor ou igual aos tratamentos infestados. Este resultado indica que a doença, obstruindo o xilema, reduziu a transpiração das plantas nos tratamentos infestados, e, conseqüentemente o fluxo de água do solo para a atmosfera (Figuras 1, 7).

No experimento em condições de casa de vegetação (estágios iniciais da epidemia) os tratamentos mais secos apresentaram menor incidência de murcha, além de atraso no início da epidemia (Figura 2), sendo significativa a diferença entre o tratamento mais seco e os demais no  $Y_{50\%}$  (Tabela 2). Este padrão foi observado em experimento preliminar em condições semelhantes (Lapidus *et al.*, 2011). Porém este fato não afetou significativamente a incidência da doença aos 82 DAT, que chegou a 90% no tratamento mais seco e a 100% nos demais tratamentos. Já o experimento conduzido em microparcelas permitiu o acompanhamento do ciclo completo do tomateiro e condições ambientais mais variáveis. Nestas condições os sintomas não foram tão uniformes e houve maior variação da incidência durante o curso da epidemia.

Mesmo com as variações, os tratamentos mais úmidos apresentaram 100% de incidência antes dos mais secos. Ocorreram condições favoráveis para o patógeno em todos os tratamentos de ambos os experimentos, favorecendo a epidemia. Comparando-se ambos os experimentos quanto à incidência aos 82 DAT nota-se uma grande diferença. Enquanto o experimento em casa de vegetação já apresentava incidência entre 90% e 100% (Figura 2), o experimento em microparcels apresentava incidência entre 27,8% e 44,4% (Figura 8). A diferença pode ter decorrido dos 10 cm de solo não infestado adicionado sobre o solo infestado nas microparcels, fato este que impediu o contato imediato do patógeno com a planta em fase de aclimação, atrasando significativamente o início da epidemia em microparcels. Este fato se torna ainda mais importante na ausência de água, devido às plantas emitirem novas raízes adventícias acima do solo infestado, atrasando ainda mais o início da infecção (Teixeira *et al.*, 2009).

Nota-se a mesma tendência de valores mais baixos nos tratamentos mais secos durante todo o experimento ao se analisar a severidade nas etapas iniciais do processo epidêmico (Figura 2), mas com diferenças significativas no  $Y_{50\%}$ ,  $Y_{máx}$ , e AACPD (Tabela 2). Este resultado se deve possivelmente ao fato de que nos tratamentos mais secos tenha ocorrido um intervalo de tempo maior entre as irrigações, fazendo com que os solos destes tratamentos apresentassem menor umidade na maior parte do tempo, dificultando o desenvolvimento ótimo do processo de infecção do sistema radicular.

No experimento conduzido em microparcels observou-se o mesmo comportamento até o período correspondente final do experimento em casa de vegetação, aos 82 DAT (Figura 8). Com o prosseguimento do processo epidêmico, após este período, o quadro se inverteu, e os tratamentos mais secos passaram a apresentar a severidade mais alta. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que até o

início da colonização do tecido da planta pelo patógeno, a água é um fator limitante para este, e baixos níveis de DTA tornam-se favoráveis às plantas. Doohan *et al.* (2003) afirmaram que diversas espécies de *Fusarium* apresentam germinação ótima em umidades elevadas, acima de 88% de DTA. Já após a infecção inicial, o patógeno passa a se multiplicar nos vasos do xilema, relativamente independente da quantidade de água disponível no solo. A água passa a partir deste momento a ser o fator limitante primordialmente para a planta, e sua falta passa a afetá-la mais do que ao patógeno, agravando-se assim os sintomas.

A análise de correlação linear entre a severidade total acumulada ao longo do experimento, representada pela AACPD, e a disponibilidade de água se mostrou significativa até os 82 DAT em condições de casa de vegetação (Figura 3). O total de doença acumulado aos 82 DAT em casa de vegetação correlacionou-se positivamente com a disponibilidade de água (Figura 3A) e negativamente com a tensão (Figura 3B, C), corroborando constatação que a murcha de fusário é inicialmente mais severa em solos mais úmidos. O mesmo não foi observado no experimento conduzido em microparcelsas sob cobertura semitransparente, onde tanto aos 82 DAT quanto ao final do experimento não foram significativas as correlações (dados não apresentados).

Em condições normais, a disponibilidade de água no solo, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e insolação são os principais fatores limitantes para a transpiração das plantas. Com a evolução do período de interação patógeno-hospedeiro, adiciona-se a doença entre estes fatores. No experimento em condições de casa de vegetação esta limitação imposta pelo patógeno pôde ser verificada pela análise de temperatura das folhas no  $Y_{50\%}$ , onde o tratamento mais seco, ao contrário do que era de se esperar em plantas saudias, apresentou temperatura de folhas mais baixa que os tratamentos mais úmidos, provavelmente por ser, no momento, o tratamento com menor

severidade da doença, e vasos menos obstruídos à transpiração (Tabela 3). Ao contrário do ocorrido no experimento conduzido em casa de vegetação, no experimento conduzido em microparcelsas as temperaturas foram inversamente proporcionais à disponibilidade total de água aos 40 DAT (Tabela 7). Considera-se este um comportamento normal de plantas sadias, considerando-se que neste experimento a doença somente se manifestou mais tardiamente, após os 52 DAT.

A análise do teor de clorofila nas folhas do experimento em condições de casa de vegetação foi prejudicada devido à contaminação dos tratamentos controles pelo patógeno, tornando os valores do teor de clorofila próximos na mesma disponibilidade total de água no solo (Tabela 3). Porém pode-se notar a maior inclinação dos gráficos dos tratamentos mais úmidos (Figura 4), sinal do avanço mais rápido dos sintomas da doença, pela destruição de cloroplastos. Pela sensibilidade do aparelho pode-se notar já no  $Y_{50\%}$  diferenças do teor de clorofila entre o tratamento mais seco e os demais, o que corrobora a análise visual de severidade. A diferença visual de sintomas entre o tratamento de 50% de DTA e os demais não foi acusada pela medição eletrônica de clorofila, provavelmente devido ao fato de a medida de clorofila ser apenas um dos fatores da análise visual, que também leva em consideração o nível de murcha e o estado geral apresentado pela planta.

Ao final do experimento em condições de casa de vegetação o tratamento mais seco manteve-se com o maior teor de clorofila, fato análogo ocorreu no experimento conduzido em microparcelsas, onde os dois tratamentos mais secos apresentaram o maior teor de clorofila, tanto no  $Y_{50\%}$  quanto ao final do experimento (Tabelas 3,7). Nota-se que no experimento conduzido em microparcelsas, o tratamento mais úmido foi o que apresentou a maior diferença no teor de clorofila entre o tratamento infestado e os controles (Figura 10). Também pode-se observar no experimento que os tratamentos

controle apresentaram menor teor de clorofila quando comparado aos tratamentos infestados. Este fato ocorre possivelmente devido à doença causar a queda de folhas baixas, fazendo com que a medição de clorofila ocorra nas folhas mais jovens nos tratamentos infestados, enquanto que nos tratamentos controle esta medição ocorreu em folhas mais velhas.

A disponibilidade de água é um fator limitante para o crescimento das plantas. A diferença na altura das plantas foi notada significativamente no cultivo em vasos, em condição de casa de vegetação. O tratamento mais seco apresentou já no  $Y_{50\%}$  o crescimento muito defasado com relação aos demais, assim como o tratamento de 50% de DTA com relação aos mais úmidos (Tabela 4). No experimento conduzido em microparcels esta mesma diferença foi notada entre as plantas no  $Y_{50\%}$  (Tabela 8). Ao final do experimento em condição de casa de vegetação as plantas dos tratamentos infestados mantiveram esta diferença, fato não ocorrido ao final do experimento em microparcels, onde esta diferença deixou de ser significativa, mesmo o tratamento mais seco apresentando altura inferior aos demais em valores absolutos, provavelmente devido ao longo ciclo deste experimento somado à limitação de altura imposta pela cobertura semitransparente.

A lesão no interior do caule, visível na forma de um escurecimento vascular é um sintoma clássico associado à murcha de fusário (Kurozawa & Pavan, 2005). A análise do percentual da altura do caule afetado pela lesão aumentou com a disponibilidade de água ao final do ensaio em casa de vegetação (82 DAT). O tratamento mais úmido alcançou a média de mais de 60% do caule afetado, enquanto o tratamento mais seco ficou por volta dos 20% (Figura 5). Ao final do curso completo da epidemia no ensaio em microparcels, não foram detectadas diferenças significativas, mas o resultado foi o inverso do observado na casa de vegetação, com o tratamento mais

úmido apresentando em valor absoluto o menor percentual do caule afetado (48%), enquanto o mais seco chegou a 60% (Figura 13). Este resultado demonstra que a maior disponibilidade de água pode favorecer o patógeno no início da colonização, mas este efeito favorável ao patógeno cessa após a estabilização do *Fusarium* no sistema vascular da planta. Após essa fase, a maior disponibilidade de água reduz a severidade dos sintomas, ao compensar parcialmente a deficiência do processo de transpiração nas plantas afetadas pela doença.

A dinâmica populacional do patógeno no solo apresentou pouca diferença entre os tratamentos em ambos os experimentos (Tabelas 4, 9). Em condições de casa de vegetação houve pouca flutuação no número de UFC/g de solo entre os tratamentos, sendo que este número cresceu significativamente após a colheita e retirada das plantas. A quantidade de propágulos no solo em UFC/g de solo, nominalmente bem menor nos solos mais secos (1.580 UFC/g) que no mais úmido (2.740 UFC/g) não foi significativa, dada a alta variação entre as amostragens dessa variável. No experimento conduzido em microparcels houve uma maior variação nas análises, mas tampouco foi significativa a diferença entre os tratamentos. Como no experimento em casa de vegetação, observou-se um crescimento no número de UFC/g de solo após a colheita e retirada das plantas. Isso é devido à decomposição de restos das raízes afetadas, que carregam nos tecidos necrosados, propágulos do patógeno (provavelmente clamidósporos). Em microparcels a quantidade de inóculo acumulada ao longo do experimento foi maior no tratamento mais seco (Tabela 9), corroborando a maior severidade de murcha observada neste tratamento.

Estes dados da dinâmica populacional somados à ausência de diferença significativa na taxa de progresso da doença ( $r$ ) entre os tratamentos remetem à importância do número inicial de unidades formadoras de colônia presentes no solo.



para o desenvolvimento da epidemia, especialmente das doenças monocíclicas. Juntamente com a utilização de cultivares resistentes, o desenvolvimento de medidas de controle voltadas à redução desta população é de grande valia para o sucesso na produção economicamente viável e sustentável do tomate.

Em conclusão, a murcha vascular de *Fusarium*, ao obstruir o fluxo de seiva bruta em tomateiro, reduz o desenvolvimento e conseqüentemente reduz a produção de frutos. Os resultados apresentados nesta dissertação indicam que em solos infestados com *Fol* uma maior parcimônia na disponibilização de água às plantas no início do ciclo, associada à níveis mais altos de umidade do solo após os 50 DAT podem resultar em melhores produções de frutos de maneira semelhante à discutida por Schnathorst (1981) para *Verticillium*. Os propágulos de *Fol* permanecem por longos períodos no solo. Em condições de casa de vegetação e outras em que o solo seja continuamente utilizado, o manejo da irrigação pode ser um importante componente do manejo integrado da murcha de fusário por duas vias: reduzir a infecção no início do ciclo e compensar o estresse hídrico do hospedeiro após a infecção. Finalmente, em se tratando de uma doença monocíclica, que muito depende a quantidade de inóculo inicial no solo, este manejo tem efeitos cumulativos ao longo de várias safras, contribuindo para a sustentabilidade da produção ao reduzir as condições para ocorrência de epidemias poliéticas, sensu Amorim *et al.* (2011).

Ambos os experimentos demonstraram claramente que a diferença na disponibilidade de água no solo impacta significativamente o desenvolvimento da epidemia de murcha de fusário, o total de água utilizada pelas plantas, o número de irrigações, o turno de rega e a produção de frutos.

## 5 Referências Bibliográficas

- AGRIOS, G.N. Plant Pathology 5ª Edição. Elsevier Academic Press. 922p. 2004.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Eds.). Manual de Fitopatologia. Vol. I. 4ª. ed. Editora Agronômica Ceres. São Paulo: 2011.
- ARDEBILI, Z.O.; ARDEBILI, N.O. & HAMDI, S.M.M. Physiological effects of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plants and its possible impact on *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. Australian Journal of Crop Science. 5 (12) : 1631-1638. 2011.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L. & STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.13, n.2, p.158-116, 2001.
- BENETT, C.G.S.; BUZETTI, S.; SILVA, K.S.; BERGAMASCHINE, A.F. & FABRICIO, J.A. Produtividade e composição bromatológica do capim marandu a fontes e doses de nitrogênio. Ciência & Agrotecnologia, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008.
- BLANCARD, D. Enfermedades del Tomate: Observar, Luchar, Identificar. INRA. 212p. 1996.
- BOOTH, C. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute. 237p. 1971.
- BORGUINI, R.G. & MATTOS, F.L. Análise do consumo de alimentos orgânicos no Brasil in: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 40. Anais. Sober, 2002.
- BURRAGE, S.W. Monitoring the environment in relation to epidemiology. In: SCOTT, P.R. & BAINBRIDGE, A. (Eds.) Plant Disease Epidemiology. 1978. pp. 93-101.
- CAFÉ FILHO, A.C. & LOBO JÚNIOR, M. Manejo de fatores físicos e culturais para o controle de patógenos de solo. Revisão Anual de Patologia de Plantas, 8:267-301. 2000.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação: A fronteira hídrica na produção de alimento, Revista Item Nº 54. 2002.

COOK, R.J. & PAPENDICK, R.I. Influence of water potential of soils and plants on root diseases. Annual Review of Phytopathology. 10: 349-74. 1972.

CORREA, M.J.P. & ALVES, P.L.C.A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. Ciência e agrotecnologia. Vol.34, n.5, pp. 1136-1145. 2010.

DALY, J.M. The carbon balance of diseased plants: changes in respiration, photosynthesis and translocation. In: HEITEFUSS, R. & WILLIAMS, P.H. eds. Physiological Plant Pathology. Encyclopedia of Plant Physiology. Springer-Verlag, v. 4, p.450-479. 1976.

DE CAL, A.; PASCUAL, S.; LARENA, I. & MELGAREJO, P. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Plant Pathology 44:909-917. 1995.

DE CAL, A.; PASCUAL, S. & MELGAREJO, P. Infectivity of chlamydospores vs microconidia of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* on tomato. Journal of Phytopathology 145:231-233. 1997.

DHINGRA O.D. & SINCLAIR J.B. Basic plant pathology methods. Lewis. 434p. 1995.

DOOHAN, F.M.; BRENNAN, J. & COOKE, B.M. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. Eur. J. Plant Pathol., 109: 755-768. 2003.

DORĐEVIĆ, M.; VATCHEV, T.; GIREK, Z.; ŠEVIĆ, M.; ZEČEVIĆ, B.; ZDRAVKOVIĆ, J. & IVANOVIĆ, M. Reaction of different tomato cultivars toward race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Genetika, 44(1):109-118. pp.109-118. 2012.

DUNIWAY, J.M. Water status and imbalance. In: HEITEFUSS, R. & WILLIAMS, P.H. (Eds.). Physiological Plant Pathology. Encyclopedia of Plant Physiology, Springer, v. 4, pp.430-449. 1976.

ESPINOZA, W. Manual de produção de tomate industrial no Vale do São Francisco. Brasília: IICA, Escritório no Brasil, 301p. 1991.

FAO - FAO Statistics Division: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acessado em: 12 de abril de 2013.

FAO - FAO's Information System on Water and Agriculture: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm> Acessado em: 12 de abril de 2013.

FIGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças 2ª Edição. UFV. 412p. 2003.

FOSTER, R.E. & WALKER, J.C. Predisposition of tomato to *Fusarium* wilt. Journal of Agricultural Research 74:165-185. 1947.

GIORDANO, L.B. & RIBEIRO, C.S.C. Origem, Botânica e Composição Química do Fruto. In: SILVA, J.B.C. & GIORDANO, L.B. (org.) Tomate para processamento industrial. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia / Embrapa Hortaliças, 168p. 2000.

GONZALEZ, I.; YAILEN, A. & PETEIRA, B. Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* - tomate. Revista Protección Vegetal, vol. 27, n.1, pp. 1-7. 2012.

HADIAN, S.; RAHNAMA, K.; JAMALI, S. & ESKANDARI, A. Comparing Neem extract with chemical control on *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita* complex of tomato. Advances in Environmental Biology, 5(8): 2052-2057. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acessado em: 20 de abril de 2013.

JONES, J.P. & WOLTZ, S.S. Effect of soil pH and micronutrient amendments on *Verticillium* and *Fusarium* wilt of tomato. Plant Disease Reporter 56:151-153. 1972.

KATAN, J. Symptomless carriers of tomato *Fusarium* wilt pathogen. Phytopathology 61:1213. 1971.

KUROZAWA, C. & PAVAN, M.A. Doenças do Tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). pp.607-626 In: KIMATI, H., AMORIM, L., REZENDE, J.A.M., BERGAMIN FILHO,

- A. & CAMARGO, L.E.A. (Eds.) Manual de Fitopatologia Vol II: doenças das plantas cultivadas, 4a. ed. São Paulo: 2005.
- LAGE, D.A.C. Fumigação de solo com óleo essencial de mostarda para o controle da murcha de fusário em tomateiro. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa. 2009.
- LAPIDUS, G.A.; LAGE, D.A.C.; CABRAL, R.N.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. Progresso temporal da murcha de fusário em tomateiro sob diferentes tensões de água no solo. Tropical Plant Pathology 36: 1045. 2011.
- LOPES, C.A. & ÁVILA, A.C. Doenças do tomateiro. 2a. Edição. Embrapa Hortaliças, Brasília, DF. 2005.
- LOPES, C.A.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. Associação da irrigação com doenças de hortaliças. Revisão Anual de Patologia de Plantas, v.14, n.151-179, 2006.
- LOYOLA, J.M.T. & PREVEDELLO, C.L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, vol.27, n.5, pp. 783-787. 2003.
- MACHADO, E.C.; QUAGGIO, J.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; TICELLI, M. & FURLANI, P.R. Trocas gasosas e relações hídricas de laranjeiras com clorose variegada dos citros. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.6, p.53–57, 1994.
- MADDEN, L.V.; HUGHES, G. & VAN DEN BOSCH, F. The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press. 2007.
- MAKISHIMA, N. & MIRANDA, J.E.C. Cultivo do Tomate. EMBRAPA – CNPH. 22p. (Instruções Técnicas, 11). 1995.
- MANTOVANI, E.C.; ZINATO, C.E. & SIMÃO, F.R. Manejo de Irrigação e Fertirrigação na Cultura da Goiabeira. In: Danilo Eduardo Rozane; Flávio A. d'Araújo Couto; Empresa Júnior de Agonomia. (Org.). Cultura da Goiabeira - Tecnologia e Mercado. 1 ed. Editora UFV, v. 1, p. 243-302. 2003.

- MARLATT, M.L.; CORRELL, J.C.; KAUFMANN, P. & COOPER, P.E. Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. *Plant Disease* 80:1336-1342. 1996.
- MAROUELLI, W.A. & CALBO, A.G. Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas®. Brasília: Embrapa Hortaliças, 16p. Circular Técnica, 69. 2009.
- MAROUELLI, W.A.; LOPES, C.A. & SILVA, W.L.C. Incidência de murcha bacteriana em tomate para processamento industrial sob irrigação por gotejamento e aspersão. *Horticultura Brasileira* 23(2): 320-323. 2005.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R. da & MADEIRA, N.R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1399-1404, 2006.
- MINAMI, K. O Tomateiro. 2ª Ed., Fundação Cargill, 1989.
- MISHRA, K.K.; KUMAR, A. & PANDEY, K.K. RAPD based genetic diversity among different isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and their comparative biocontrol. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 26(6), 1079-1085. 2010.
- MOMMA, N.; MOMMA, M. & KOBARA, Y. Biological soil disinfestation using ethanol: effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and soil microorganisms. *Journal of General Plant Pathology* vol. 76 issue 5 p. 336 – 344. 2010.
- MOMMA, N.; YAMAMOTO, K.; SIMANDI, P. & SHISHIDO, M. Role of organic acids in the mechanisms of biological soil disinfestation (BSD). *Journal of General Plant Pathology*, 72, 247-252. 2006.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, R.C.; BEZERRA NETO, E. & SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.12, p.1963-1969, 1998.
- OLIVEIRA J.T.A. de. Tomates. Sócio-economia. Disponível em <http://www.feagri.unicamp.br/tomates/socioeconomia.htm>. 2005. Acessado em 25 de janeiro de 2013.

PAZINATO, B.C & GALHARDO, R.C. Processamento Artesanal do Tomate. 2a ed. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1997.

PENG, H.X.; SIVASITHAMPARAM, K. & TURNER, D.T. Chlamydospore germination and *Fusarium* wilt of banana plantlets in suppressive and conducive soils are affected by physical and chemical factors. *Soil Biology and Biochemistry*. 31:1363-1374. 1999.

PERALTA, I.E.; KNAPP, S. & SPOONER, D.M. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *TGC Report* 56: 6-12. 2006.

REIS, A. & BOITEUX, L.S. Outbreak of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in commercial fresh-market tomato fields in Rio de Janeiro State, Brazil. *Horticultura Brasileira* 25: 451-454. 2007.

REIS, A.; COSTA, H.; BOITEUX, L.S. & LOPES, C.A. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 30:426-428. 2005.

REKAH, Y.; SHTEINBERG, D. & KATAN, J. Population dynamics of *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in relation to the onset of *Fusarium* crown and root rot of tomato. *Eur. J. PL Pathol.* 107:367-375. 2001.

ROTEM, J. & PALTI, J. Irrigation and plant diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 7: 267-88. 1969.

ROZANE, D.E.; SOUZA, H.A. de.; PRADO, R. de M.; NATALE, W.; FRANCO, C.F. & LEAL, R.M. Influência do cultivar, do tipo de folha e do tempo de cultivo na medida indireta da clorofila (SPAD) em mudas de goiabeira. *Ciência Agrotecnologia*, v. 33, n. 6, p. 1538-1543. 2009.

SAFIUDDIN, A.; SHAHAB, S.; MAZID, M. & AHMED, D. Comparative study of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *Meloidogyne incognita* race-2 on plant growth parameters of tomato. *Agricultural Sciences*, 3, 844-847. 2012.

SCHNATHORST, W.C. Lifecycle and epidemiology of *Verticillium*. p. 81-111 in: MACE, M.E.; BEIL A.A. & BECKMAN, E.H. (Eds). *Fungal wilt diseases of plants*. Academic Press. 1981.

SHANER, G. & FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056. 1977.

SOUZA, L.T.; MICHEREFF, S.J.; LARANJEIRA, D.; ANDRADE, D.E.G.T.; FERRAZ, E.; LIMA, G.S.A. & REIS, A. Reação de genótipos de tomateiro às raças 2 e 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Horticultura Brasileira* 28: 102-106. 2010.

STEINKELLNER, S.; HAGE-AHMED, K.; GARCIA-GARRIDO, J.M.; ILLANA, A.; OCAMPO, J.A. & VIERHEILIG, H. A comparison of wild-type, old and modern tomato cultivars in the interaction with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and the tomato pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Mycorrhiza* 22: 189-194. 2012.

SYVERTSEN, J.P.; BAUSHER, M.G. & ALBRIGO, L.G. Water relations and related leaf characteristics of healthy and blight affected citrus trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105:431-434, 1980.

TEIXEIRA, H.; PAULA JÚNIOR, T.J.; NICOLI, A.; VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S. & ZAMBOLIM, L. Manejo da podridão-radicular-seca do feijoeiro. Belo Horizonte-MG: EPAMIG, Circular Técnica Nº 63. 2009.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P.A. & COSTA, H. Doenças causadas por fungos em tomate. pp.699-756 In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R. & COSTA, H. (Eds.) *Controle de doenças de plantas hortaliças*. UFV. 2000.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44:892-898, 1980.

VIDA, J.B.; ZAMBOLIM, L.; TESSMANN, D.J.; BRANDÃO FILHO, J.U.T.; VERZIGNASSI, J.R. & CAIXETA, M.P. Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. *Fitopatologia Brasileira* 29:355-372. 2004.

VILLA NOVA, N.A.; BACCHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Potencial da água no sistema solo - planta estimado através da fase de vapor. *Scientia Agricola*, vol.53, n.1, pp. 194-194. 1996.



ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E.G.; PICCININ, J.L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TORRES, E. & ALVES, B.J.R. Calibração do medidor de clorofila SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, n.9, p.1117-1192, 2003.

Quadro 1: Composição do substrato utilizado nos experimentos de vasos e microparcelas. Brasília, 2012.

Para 110 L	
Latossolo peneirado*	90,3 L
Areia fina	14,2 L
Composto orgânico	5,5 L
Sulfato de amônio	50 g
Super fosfato simples	800 g
Cloreto de potássio	20 g
Calcário dolomítico	125 g

\* Latossolo vermelho-amarelo coletado da camada de 0 – 20 cm do campo experimental da Embrapa Hortaliças.

Quadro 2 – Volume de água aplicado por vaso, em mililitros, conforme a tensão de água no solo, por irrigação. Brasília, 2012.

Média em - (kPa)	Até o 14º DAT	Após 14º DAT
6	60	130
17	180	360
46	310	610
135	430	860

Quadro 3 – Volume de água aplicado por irrigação conforme a tensão de água no solo, no experimento em microparcelas, por tanque de solo, em litros. Brasília, 2012.

Média	1° ao	8° ao	31° ao 60°	61° ao 90°	Após
em - (kPa)	7° DAT	30° DAT	DAT	DAT	90° DAT
6	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
17	2,3	3,5	4,7	5,8	7,0
46	3,9	5,9	7,9	9,8	11,8
135	5,5	8,4	11,0	13,8	16,5

Tabela 1 –Número de irrigações e turnos de rega em condições de casa de vegetação.  
Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	Número de Irrigações		Turno de rega (dias/irrigação)	
	Infestados	Controles	Infestados	Controles
90	77	77	1,01	1,01
70	55	60	1,42	1,30
50	28	32	2,79	2,44
30	14	14	5,57	5,57

Tabela 2 – Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPD), severidades no  $Y_{50\%}$  e  $Y_{máx}$ , incidência no  $Y_{50\%}$  e taxa de progresso da doença (r), em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	AACPD** (severidade x dia)	Severidade no $Y_{50\%}$ ** (%)	Severidade no $Y_{máx}$ ** (%)	Incidência no $Y_{50\%}$ (%)	Taxa de progresso da doença (r)
90	7.57 a	55 a	86,25 a	98 a	$1,89 \times 10^{-2}$ ns
70	7,06 a	52,5 a	82,5 ab	100 a	$1,98 \times 10^{-2}$ ns
50	4,04 b	30 b	62,5 b	75 a	$2,15 \times 10^{-2}$ ns
30	1,9 c	11,25 c	36,25 c	45 b	$1,87 \times 10^{-2}$ ns
CV (%)	12,48	11,91	8,1	9,48	11,92
F-tratamentos	1%	1%	1%	1%	ns
F-blocos	ns	ns	ns	ns	ns

\*As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

\*\* Para análise estatística os dados foram transformados para  $X = \sqrt{\left(\frac{x}{100}\right)}$ ;

\*\*\* ns = não significativo.

Tabela 3 – Teor de clorofila nas folhas em  $Y_{50\%}$ ,  $Y_{máx}$ , total no experimento e temperatura de folhas aos 40 DAT em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	Teor de		Teor de		Teor de clorofila total acumulado (US)						Temperatura de folhas aos 40 DAT (°C)	
	clorofila $Y_{50\%}$ (US)		clorofila $Y_{máx}$ (US)		Infestados			Controles				
90	24,33	a	16,44	a	277,39	a	A	275,33	a	A	25,99	a
70	28,61	a	21,38	a	310,74	ab	A	297,36	a	A	25,37	a
50	26,13	a	26,34	ab	339,97	b	A	288,97	a	B	25,95	a
30	35,87	b	33,27	b	344,82	b	A	351,71	b	A	23,95	ab
CV (%)	17,1		34,22					7,42			3,56	
F-tratamentos	1%		1%					1%			1%	
F-blocos	ns		ns					ns			ns	
F-inóculo	ns		ns					ns			ns	
F-tensão	1%		1%					1%			1%	
Interação	ns		ns					5%			ns	

\*As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

\*\* ns = não significativo.

Tabela 4 – Altura de plantas no  $Y_{50\%}$  e  $Y_{\text{máx}}$ , população do patógeno no solo aos 97 dias após o transplântio (DAT) em unidades formadoras de colônia por g de solo (UFC/g) em condições de casa de vegetação. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	Altura de plantas $Y_{50\%}$ (cm)		Altura de plantas $Y_{\text{máx}}$ - infectadas (cm)		UFC/g de solo aos 97 DAT**	
90	146,20	a	176,27	a	2740	ns
70	140,56	a	186,28	a	2330	ns
50	123,18	b	150,82	b	2260	ns
30	95,68	c	126,57	c	1580	ns
CV (%)	7,11		6,01		39,23	
F-tratamentos	1%		1%		ns	
F-blocos	5%		5%		ns	
F-inóculo	ns		n/a		n/a	
F-tensão	1%		n/a		n/a	
Interação	ns		n/a		n/a	

\*As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

\*\* ns = não significativo; n/a = não se aplica.



Tabela 5 – Total de água utilizada, número de irrigações e turnos de rega em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	Número de Irrigações		Turno de rega (dias/irrigação)	
	Infestados	Controles	Infestados	Controles
90	143	144	1,06	1,05
70	102	126	1,48	1,20
50	46	58	3,28	2,60
30	15	20	10,07	7,55

Tabela 6 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), severidades aos 82 dias após o transplante (DAT),  $Y_{50\%}$  (101 DAT) e  $Y_{máx}$ , (141 DAT) incidência aos 82 DAT e taxa de progresso da doença em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	AACPD** (severidade x dia)		Severidade aos 82 DAT** (%)		Severidade no $Y_{50\%}$ ** (%)		Severidade no $Y_{máx}$ ** (%)		Incidência aos 82 DAT (%)		Taxa de progresso da doença (r)	
90	7,95	ns	25,0	ns	27,77	ns	56,94	ns	27,8	ns	$2,52 \times 10^{-2}$	ns
70	6,07	ns	15,3	ns	19,44	ns	59,72	ns	33,3	ns	$3,39 \times 10^{-2}$	ns
50	8,65	ns	22,2	ns	31,94	ns	68,06	ns	33,3	ns	$3,04 \times 10^{-2}$	ns
30	9,53	ns	20,3	ns	45,83	ns	76,39	ns	44,4	ns	$3,30 \times 10^{-2}$	ns
CV (%)	16,86		37,03		21,58		7,95		37,03		23,92	
F-tratamentos	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
F-blocos	ns		ns		ns		ns		ns		ns	

\* Para análise estatística os dados foram transformados para  $X = \sqrt{\left(\frac{x}{100}\right)}$ ;

\*\* ns = não significativo.

Tabela 7 – Teor de clorofila das folhas no  $Y_{50\%}$  (101 dias após o transplântio, DAT),  $Y_{máx}$  (141 DAT), total acumulado e temperatura média de folhas aos 40 DAT em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	Teor de clorofila $Y_{50\%}$ (US)		Teor de clorofila $Y_{máx}$ (US)		Teor de clorofila total acumulado (US)		Temperatura média de folhas até os 40 DAT (°C)	
90	26,88	a	15,04	ab	514,16	ab	17,76	a
70	24,39	a	14,45	a	487,84	a	17,87	ab
50	32,36	b	23,96	b	558,1	bc	18,07	bc
30	32,55	b	22,89	ab	601,8	c	18,19	c
CV (%)	9,44		29,27		5,59		0,91	
F-tratamentos	1%		1%		1%		5%	
F-blocos	1%		1%		ns		5%	
F-inóculo	5%		ns		ns		ns	
F-tensão	1%		5%		1%		5%	
Interação	Ns		ns		ns		ns	

\*As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

\*\* ns = não significativo.

Tabela 8 – Altura de plantas aos 59 DAT,  $Y_{\text{máx}}$  (141 DAT) e lesão visível no interior do caule em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	Altura de plantas 59 DAT (cm)	Altura de plantas $Y_{\text{máx}}$ - infectadas (cm)	Lesão no caule - infectadas (%)
90	177,14 a	228,28 a	48,81 a
70	175,56 a	226,73 a	54,31 a
50	147,78 b	229,36 a	58,34 a
30	108,31 c	125,33 a	59,99 a
CV (%)	7,66	29,15	39,08
F-tratamentos	1%	ns	ns
F-blocos	5%	ns	ns
F-inóculo	1%	n/a	n/a
F-tensão	1%	n/a	n/a
Interação	ns	n/a	n/a

\*As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

\*\* ns = não significativo; n/a = não se aplica.

Tabela 9 – Dinâmica populacional do patógeno no solo no  $Y_{50\%}$ ,  $Y_{\text{máx}}$  e área abaixo da curva (AAC) de unidades formadoras de colônia-dia por grama de solo (UFC\*dia/g) em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

Disponibilidade de água no solo (%)	$Y_{50\%}$ (UFC/g de solo)	$Y_{\text{máx}}$ (UFC/g de solo)	AAC (UFC*dia/g de solo)
90	358,33 ns	500 ns	4150,0 ab
70	308,33 ns	700 ns	4033,3 a
50	658,33 ns	667 ns	5783,3 ab
30	266,67 ns	1450 ns	5908,3 b
CV (%)	8,75	14,05	8,58
F-tratamentos	ns	ns	5%
F-blocos	ns	ns	5%

\*As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

\*\* ns = não significativo

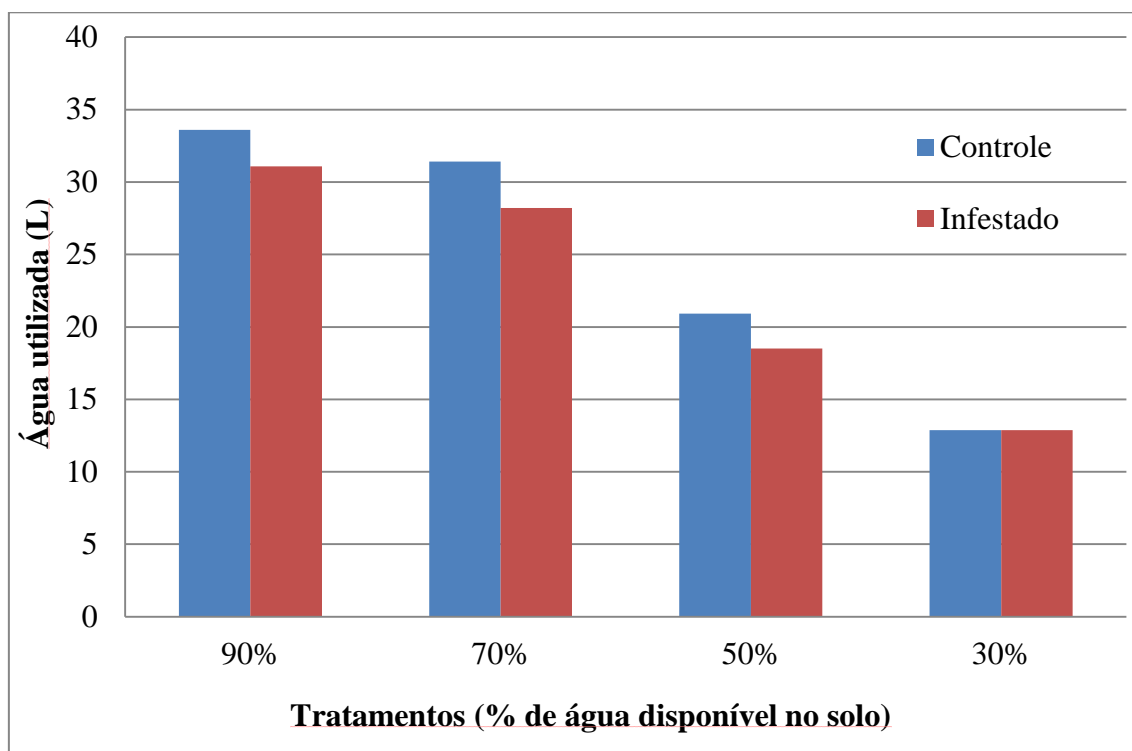


Figura 1 – Total de água utilizada em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em vasos dentro de casa de vegetação, aos 82 dias após o transplântio (DAT). Brasília, 2012.

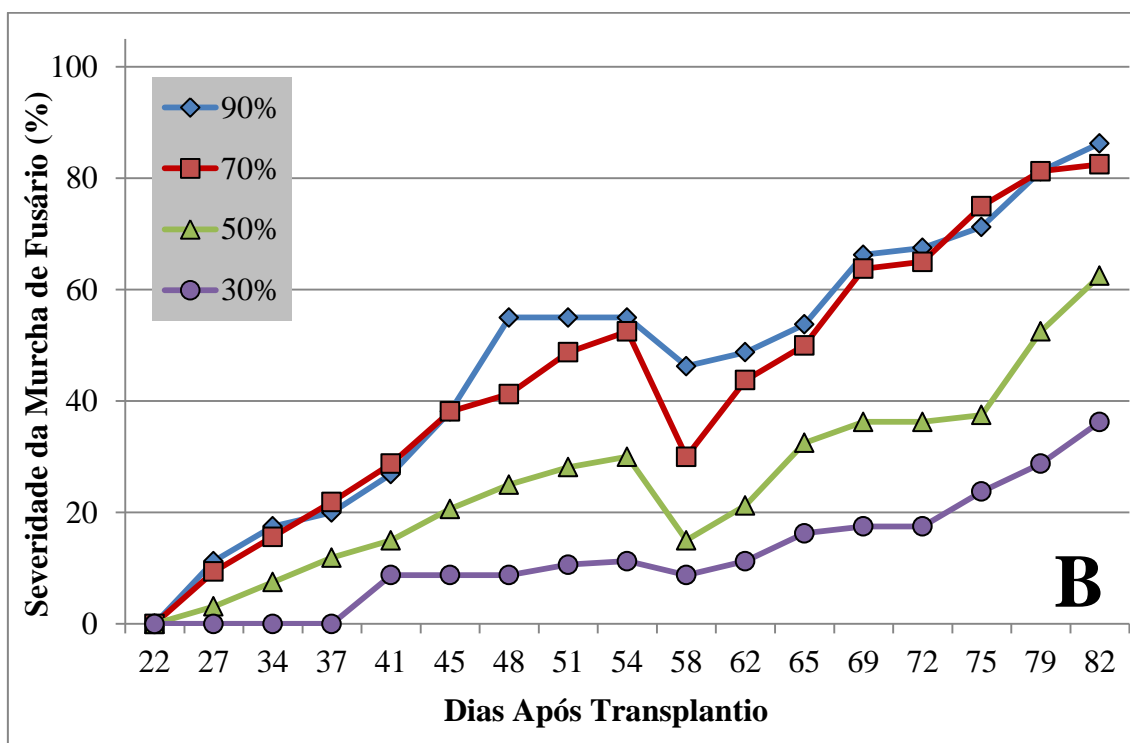
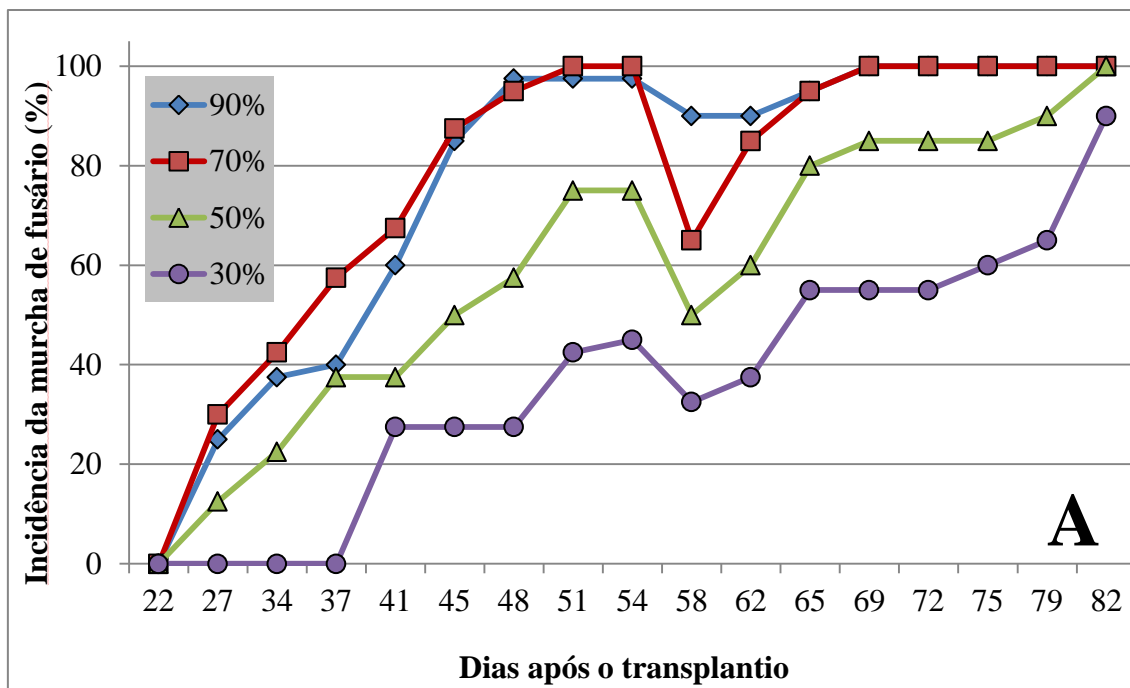


Figura 2 – Incidência (A) e severidade (B) da murcha de fusário (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo conduzido em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.

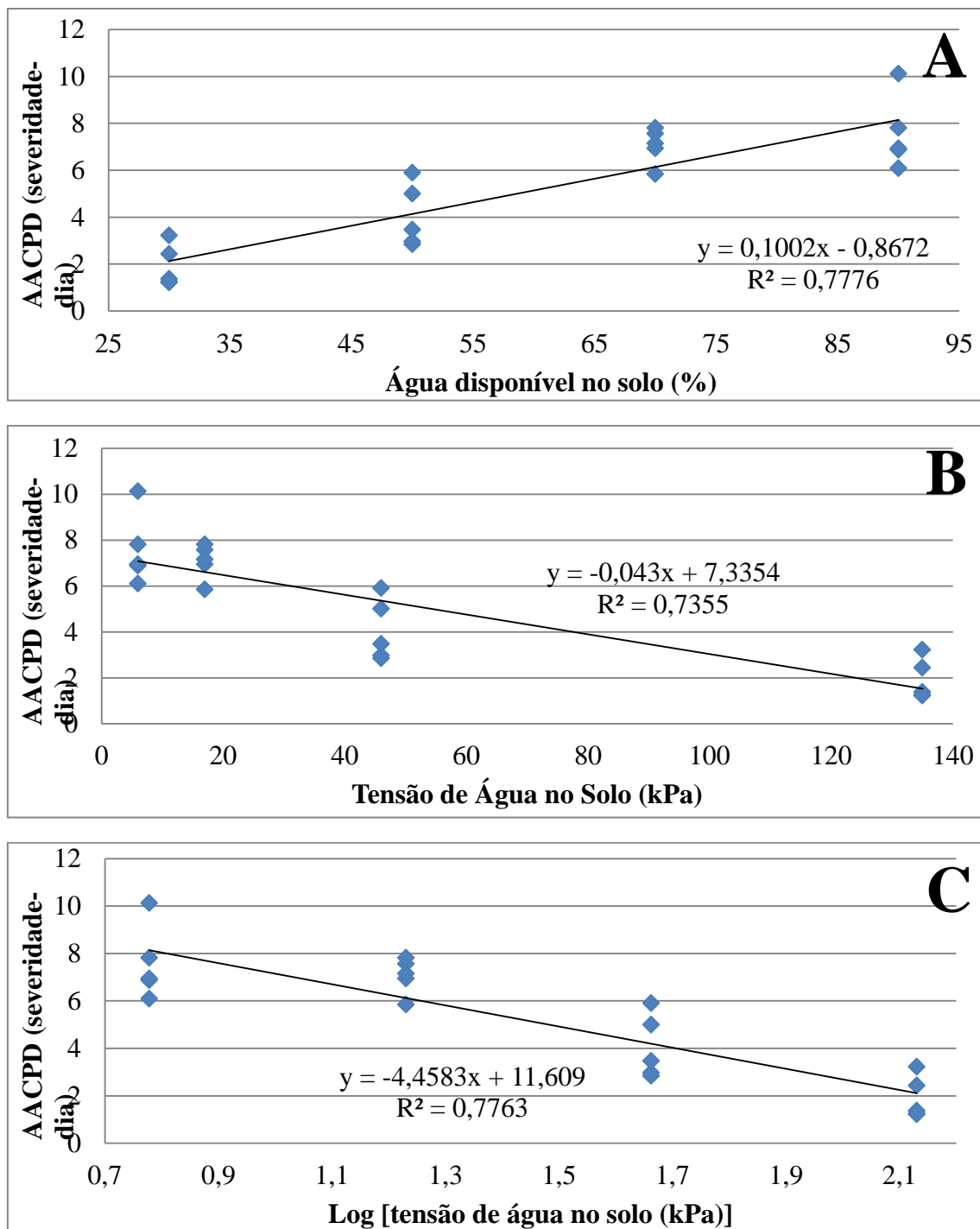
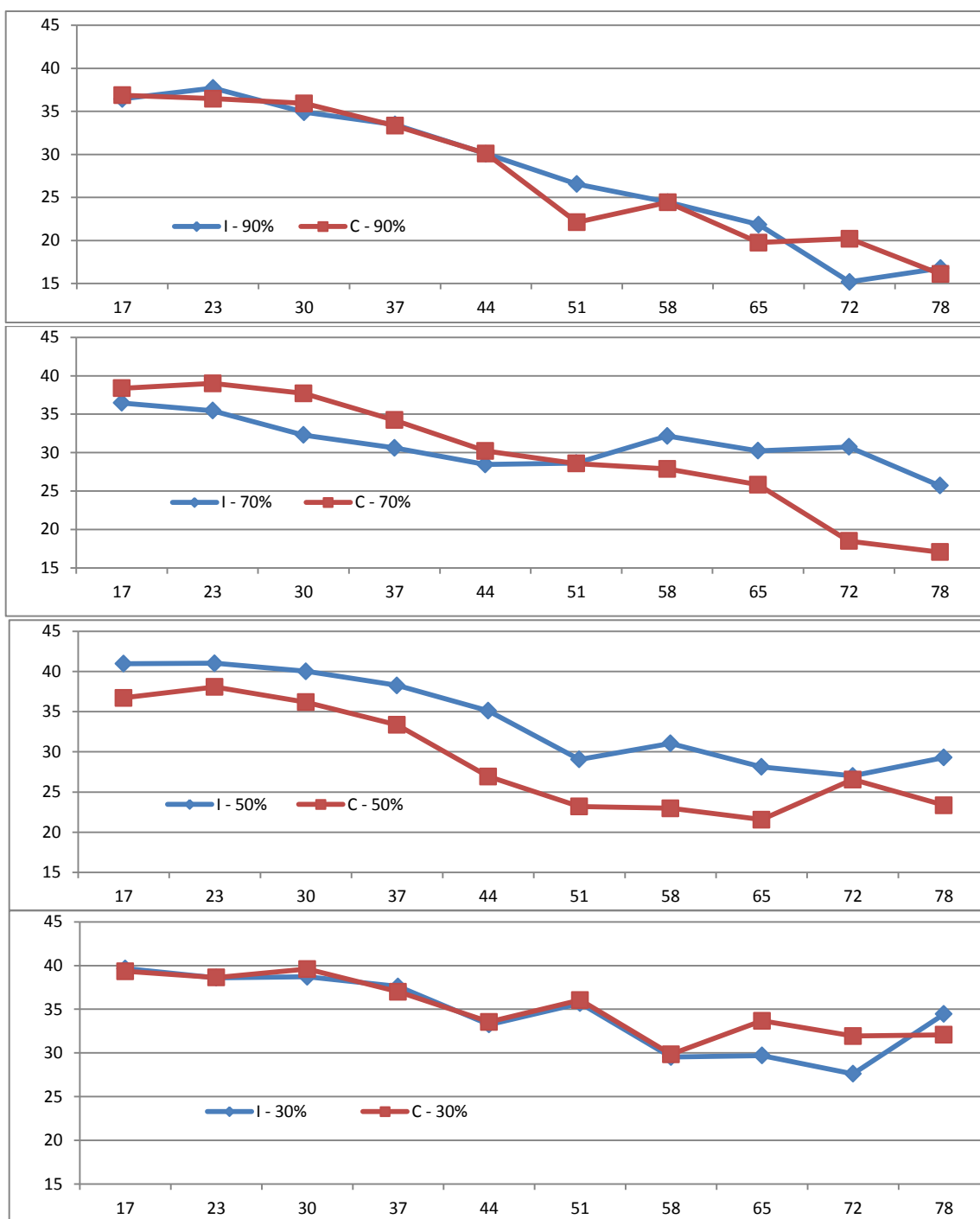


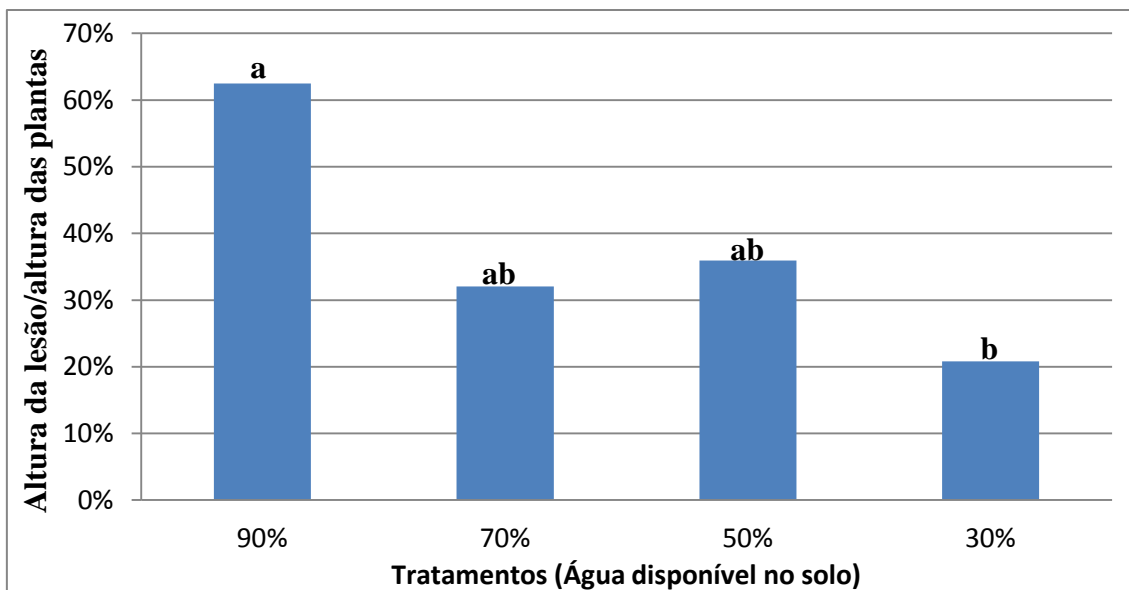
Figura 3 – Correlação entre a área abaixo da curva de severidade da murcha de fusário (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) e volume de água disponível no solo (A), tensão de água no solo (B), e log da tensão de água no solo (C), em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo conduzido em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.





Dias após transplanto

Figura 4 – Teor de clorofila de folhas de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. *sp. lycopersici*, conduzido em vasos dentro de casa de vegetação. Brasília, 2012.



\*Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

Figura 5 – Percentual do comprimento da lesão vascular pela altura da planta de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em vasos dentro de casa de vegetação, aos 82 dias após o transplântio (DAT). Brasília, 2012.

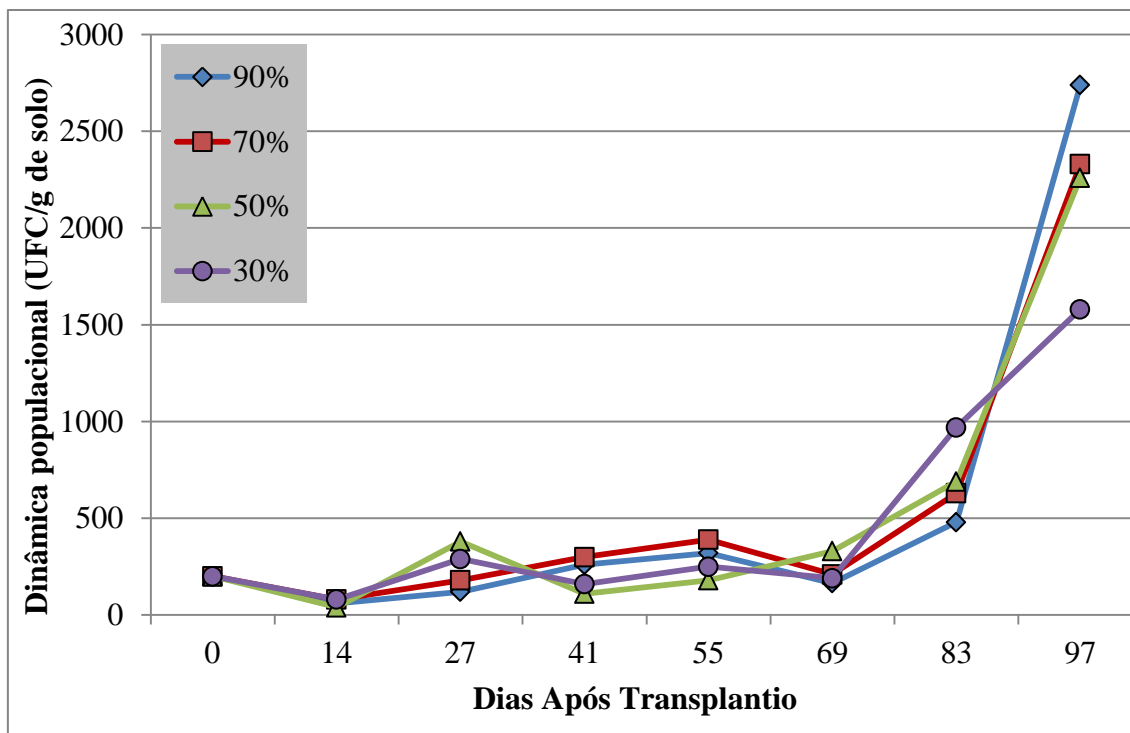


Figura 6 – Dinâmica populacional de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, em solo infestado com 2.000 clamidósporos por grama de solo e cultivado com tomateiro em vasos dentro de casa de vegetação. As plantas foram retiradas aos 82 DAT. Brasília, 2012.

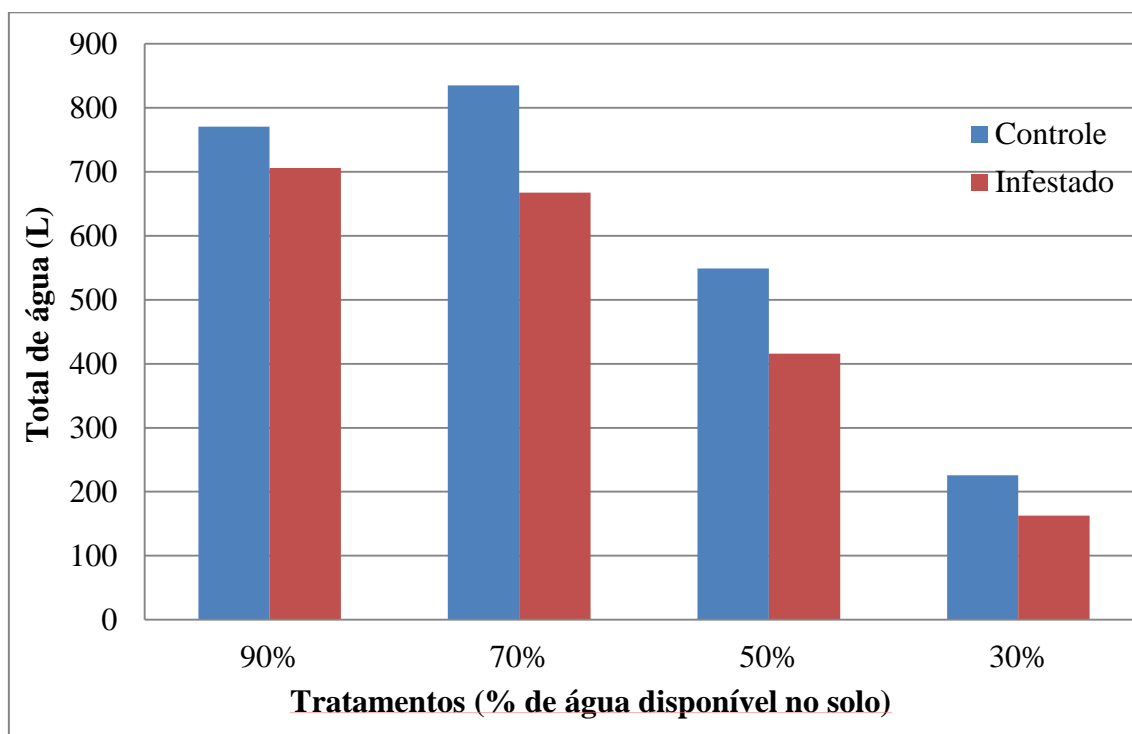


Figura 7 – Total de água utilizada por parcela em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em microparcels sob cobertura semitransparente, aos 141 dias após o transplântio (DAT). Brasília, 2012.

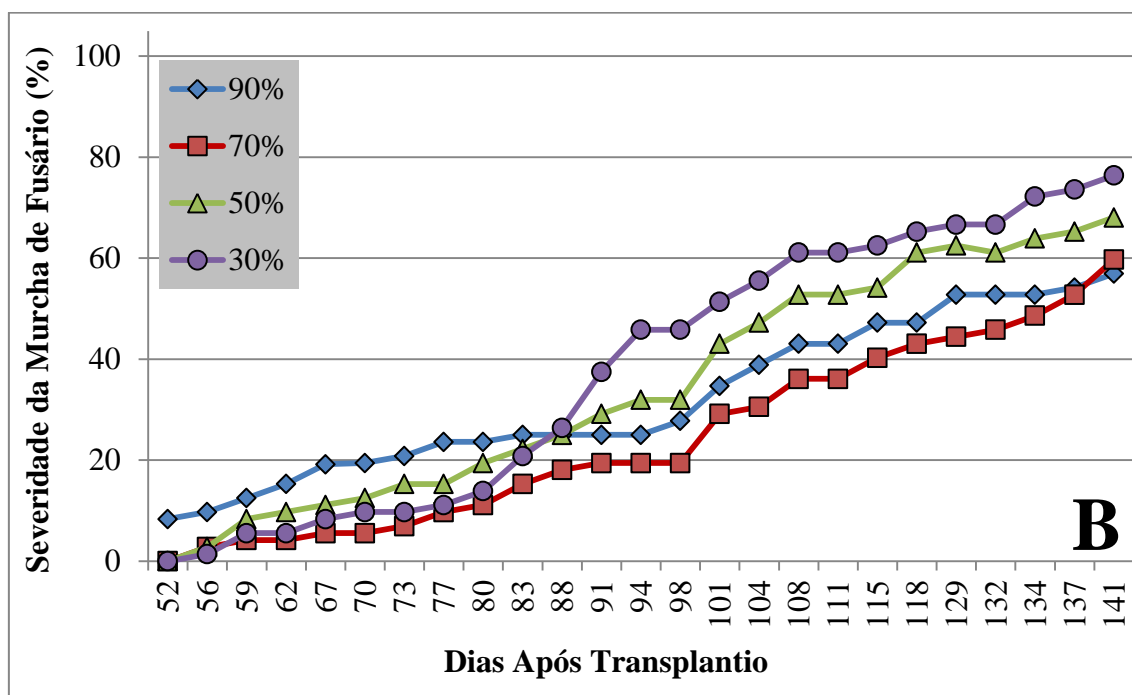
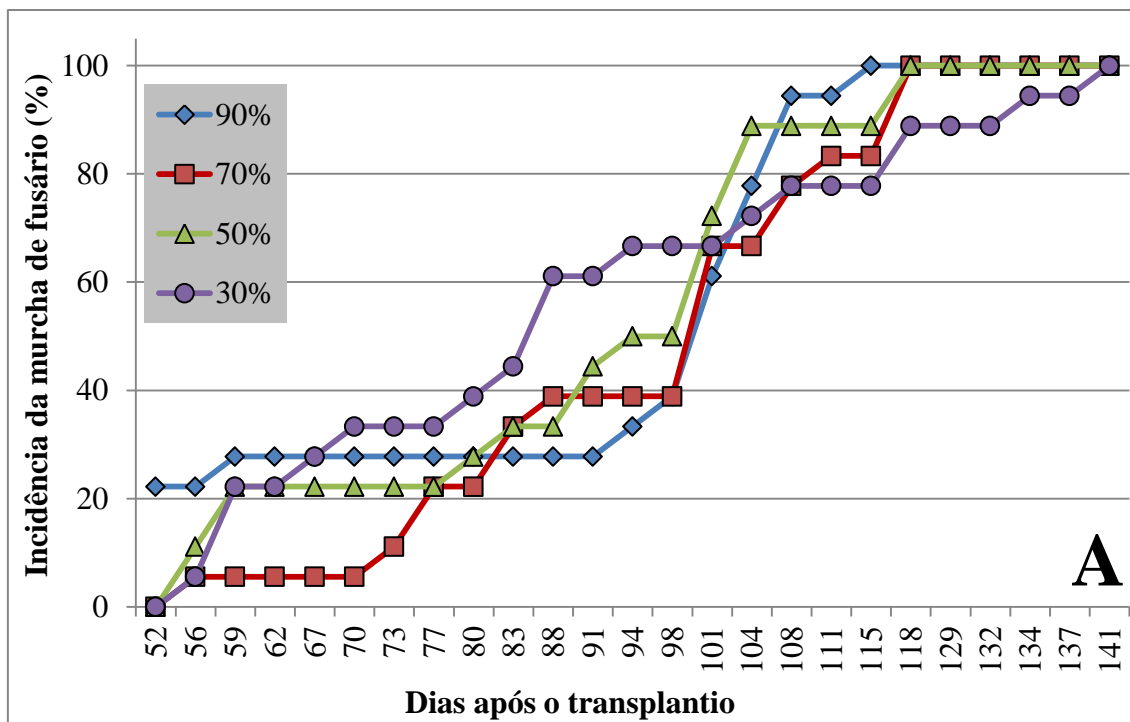


Figura 8 – Incidência (A) e severidade (B) da murcha de fusário (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) em tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo conduzido em microparcelas sob telado. Brasília, 2012.

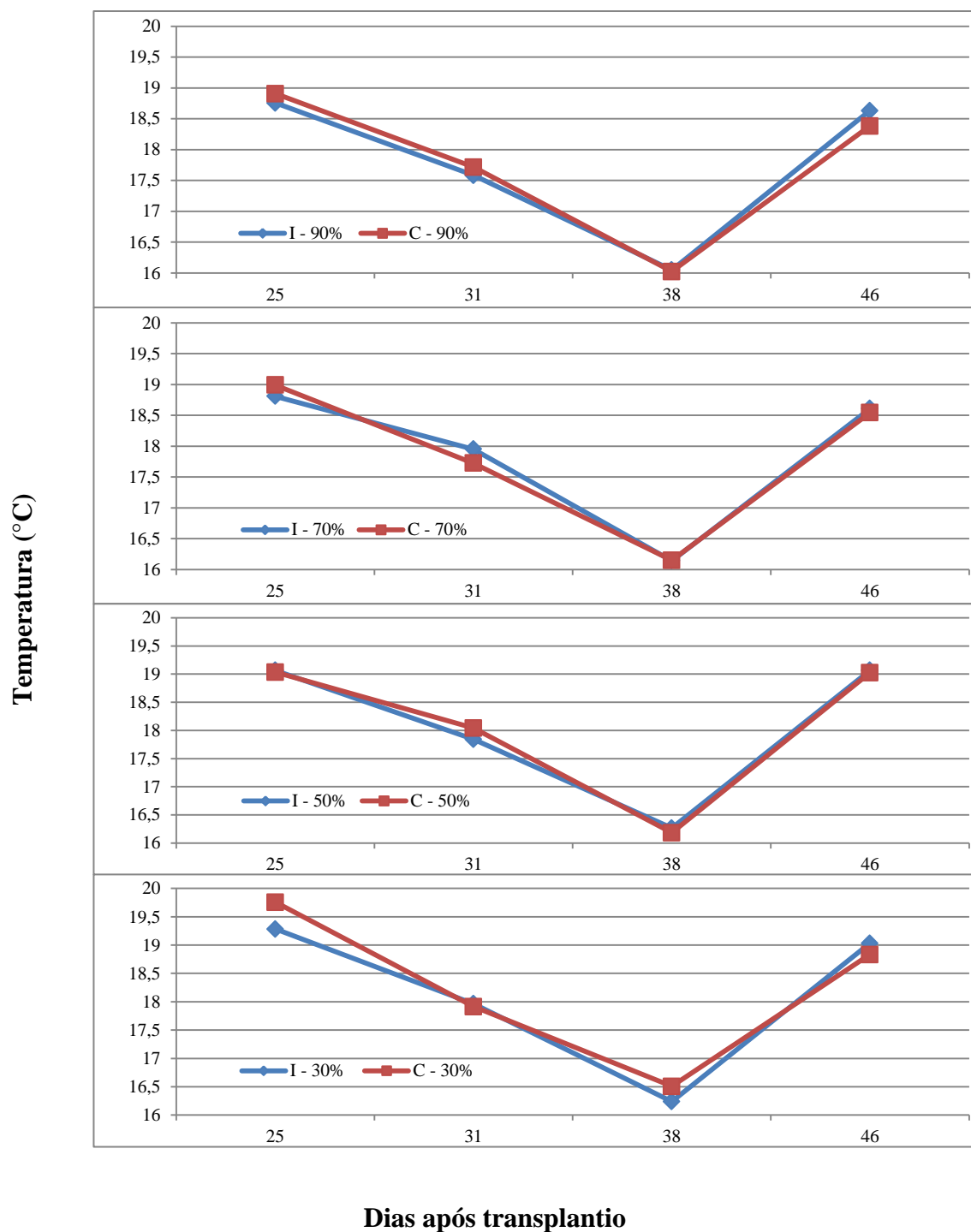


Figura 9 – Temperatura da superfície foliar de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

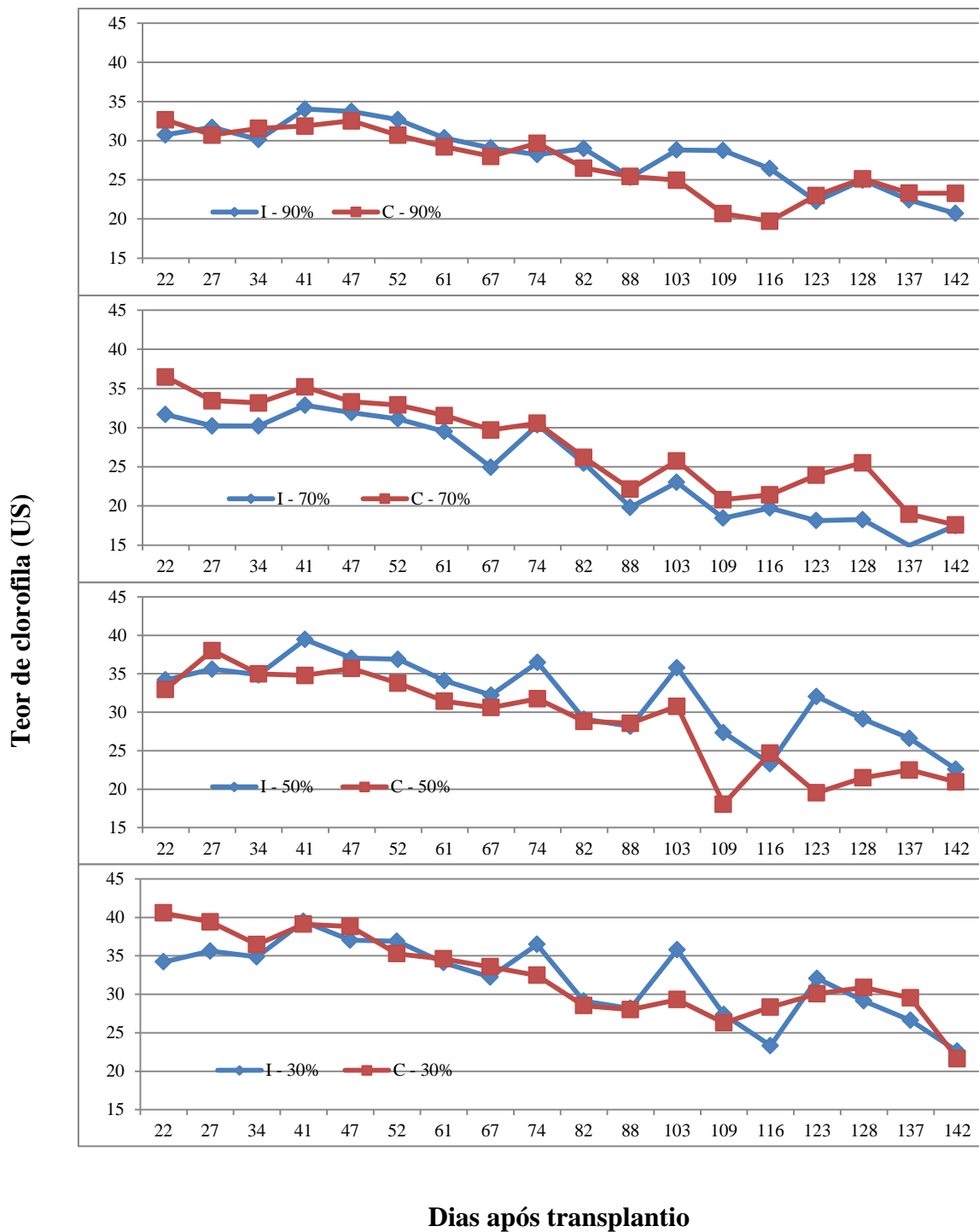


Figura 10 – Teor de clorofila de folhas de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.

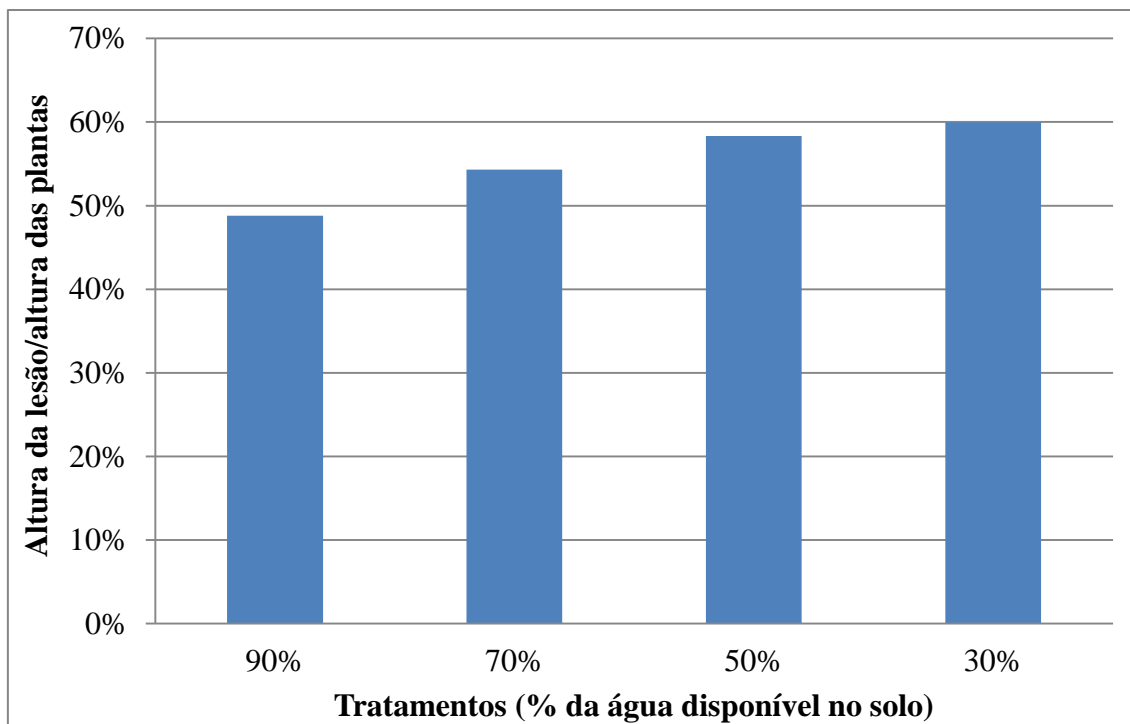


Figura 11 – Percentual do comprimento da lesão vascular pela altura da planta de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, com infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.



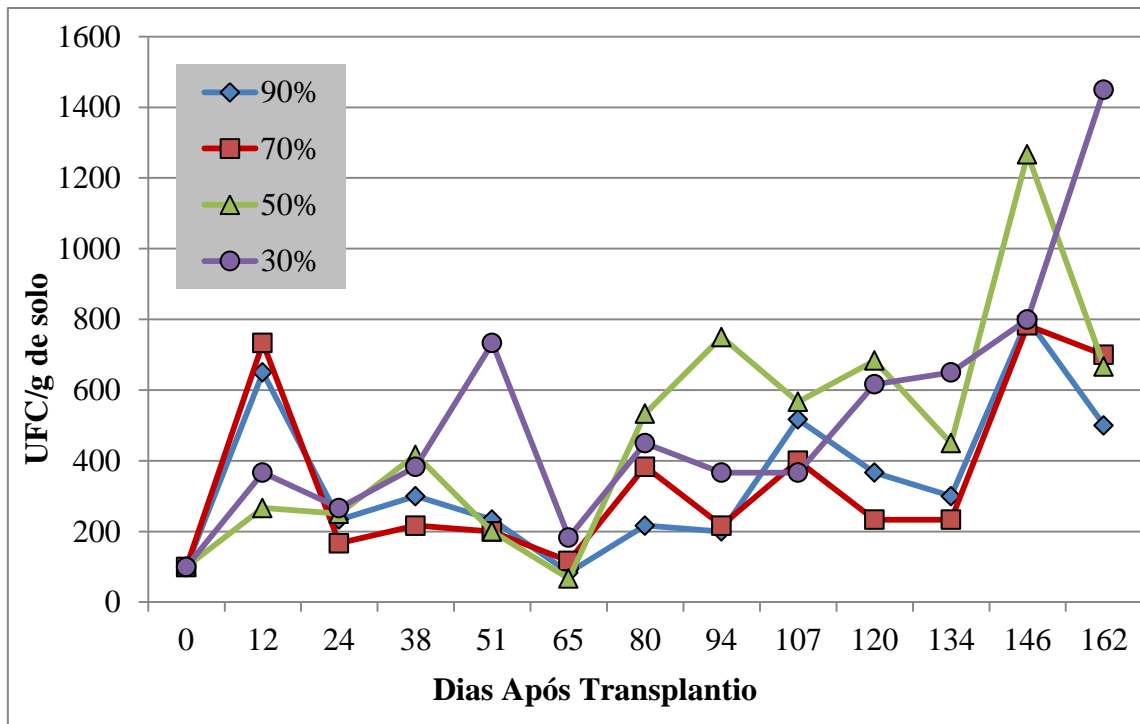
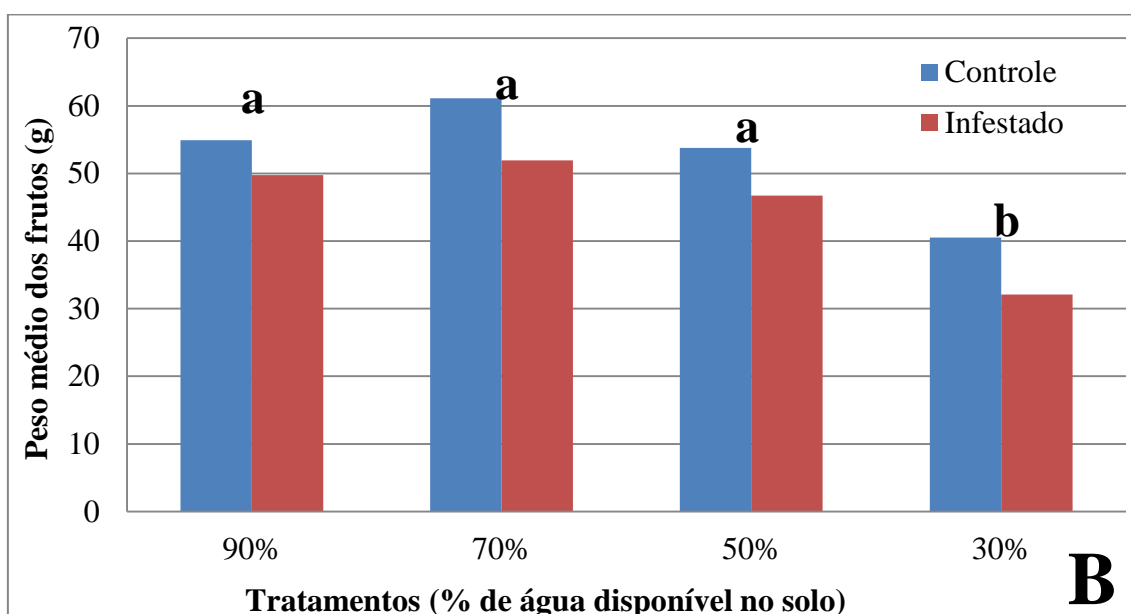
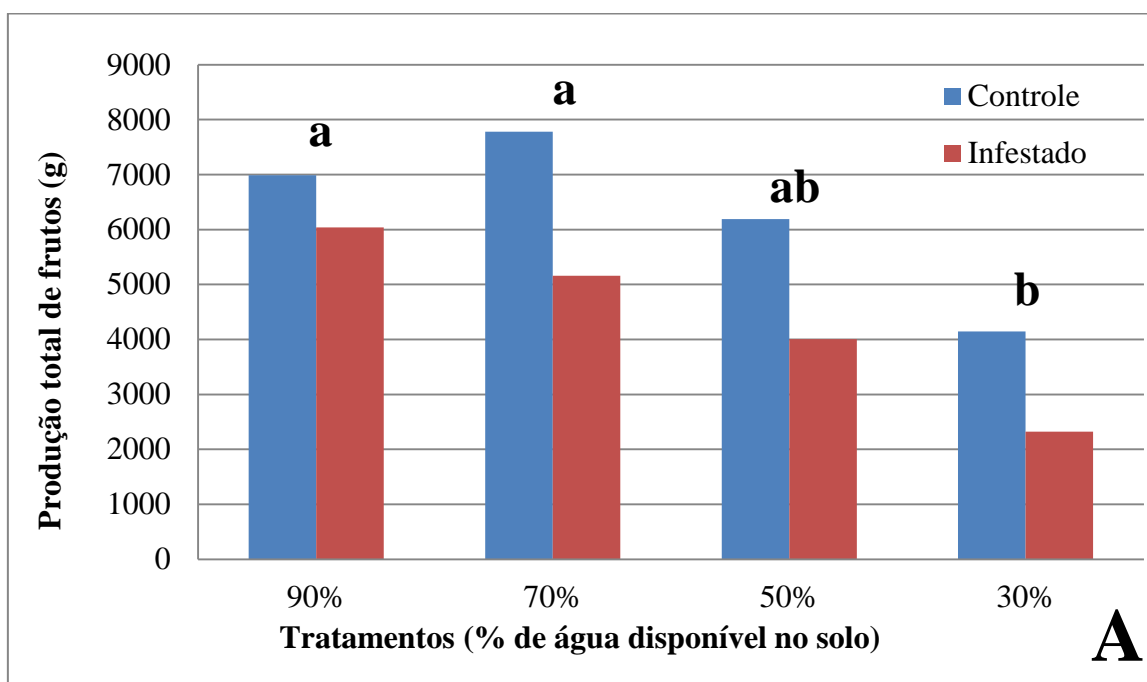


Figura 12 – Dinâmica populacional de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, em solo cultivado com tomateiro em microparcelas sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.



\*Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%;

Figura 13 – Produção total de frutos comercializáveis (A) e média de peso de frutos comercializáveis (B) de tomateiro submetido a diferentes níveis de água no solo, por parcela, com e sem infestação por clamidósporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, conduzido em microparcels sob cobertura semitransparente. Brasília, 2012.